

Gheorghe
Chiș

Alexandru
Săndulache

Mihail
Albotă



Elemente de geografie și selenografie matematică



EDITURA ȘTIINȚIFICĂ ȘI ENCICLOPEDICĂ

Gheorghe Chiș ● Alexandru Săndulache ● Mihail Albotă

Elemente de geografie și selenografie matematică



Editura științifică și enciclopedică
București, 1981

CUPRINS

PREFAȚĂ	7
1 FORMA ȘI DIMENSIUNILE PĂMÎNTULUI	9
1.1. Istoricul măsurării Pământului	9
1.2. Forma și dimensiunile Pământului	14
2 CÎMPUL GRAVITAȚIONAL AL PĂMÎNTULUI	18
2.1. Potențialul gravitațional al Pământului	18
2.2. Pământul normal	21
2.3. Elementele de bază ale suprafețelor de referință. Sisteme de coordonate	23
2.4. Legătura dintre diferite sisteme de coordonate	28
2.5. Studiul experimental al gravitației terestre.	29
3 MĂSURAREA ȘI REPREZENTAREA SUPRAFETEI TERESTRE	35
3.1. Noțiuni despre erorile de măsurare	35
3.2. Coordonate rectangulare și polare în plan și spațiu	39
3.3. Operații topografice	41
3.4. Măsurători planimetrice.	45
3.5. Măsurători altimetrice	55
4 CERCETAREA SUPRAFETEI TERESTRE DIN SPAȚIUL AERIAN	60
4.1. Aerofotografierea convențională și neconvențională	61
4.2. Fotogrammetrie planimetrică	66
4.3. Stereofotogrammetrie	70
4.4. Exploatarea automată a fotogramelor	76
4.5. Înregistrări aeriene nefotografice	77
5 PROBLEMA HĂRȚII	81
5.1. Deformările reprezentărilor în plan	82
5.2. Sisteme de reprezentare plană	85
5.3. Proiecții conice	89
5.4. Proiecții azimutale	95
5.5. Proiecții cilindrice	108
5.6. Alte sisteme de reprezentare	118
6 COORDONATE CEREȘTI ȘI COORDONATE GEOGRAFICE	126
6.1. Sfera cerească	126
6.2. Coordonate cerești	131

6.3. Mișcarea anuală aparentă a Soarelui	134
6.4. Noțiuni de trigonometrie sferică	139
6.5. Transformarea coordonatelor	145
6.6. Variația coordonatelor cerești	148
6.7. Timpul și măsurarea lui	159
7 ELEMENTE DE ASTRONOMIE PRACTICĂ	167
7.1. Instrumente astronomice	167
7.2. Determinarea orei exacte	174
7.3. Orientarea	175
7.4. Determinarea azimutului unei direcții	177
7.5. Determinarea latitudinii geografice	184
7.6. Determinarea longitudinii geografice	194
7.7. Determinări simultane de longitudine, latitudine și azimut	202
8 CERCETAREA PĂMÎNTULUI DIN SPAȚIUL COSMIC	206
8.1. Studiul formei și dimensiunilor Pământului din sateliți	206
8.2. Triangulația cosmică (geodezia spațială geometrică)	211
8.3. Geodezia spațială dinamică	217
8.4. Teledetecția Pământului din sateliți și nave spațiale	223
8.5. Tipuri de înregistrări și prelucrarea lor	227
8.6. Programe de teledetecție spațială	231
8.7. Utilizarea înregistrărilor de teledetecție spațială	241
9 STUDIUL LUNII	243
9.1. Mișcările Lunii	244
9.2. Formă și dimensiuni	246
9.3. Masă, densitate și accelerația gravitațională	249
9.4. Atmosfera și climatul lunar. Câmpul magnetic	251
9.5. Suprafața și interiorul Lunii	254
9.6. Formarea și evoluția Lunii	261
9.7. Coordonate selenografice și rețeaua cartografică	265
10 CERCETAREA LUNII CU AJUTORUL TELEDETECTIEI	275
10.1. Programe spațiale de cercetare	275
10.2. Fotogrammetrie în spațiul selenar	288
10.3. Cartografierea Lunii	290
BIBLIOGRAFIE	292
INDEX SELECTIV DE NOȚIUNI	295

PREFATĂ

Din cele mai vechi timpuri, omul — culegător, vânător, crescător de vite, agricultor — s-a deplasat pe suprafața terestră pentru a-și asigura cele necesare traiului său. Necesitatea l-a obligat să descrie mediul înconjurător, să studieze productivitatea sa și modul în care acesta poate să-i acopere nevoile. De aici știința descrierii Pământului, geografia (după cum i-au spus vechii eleni).

Cu timpul, noțiunea de geografie s-a lărgit trecându-se de la simpla descriere a suprafeței la studiul profund al planetei noastre. Ea reprezintă astăzi studiul interacțiunii dintre geosfere (atmosferă, hidrosferă, litosferă, biosferă, antroposferă), avînd ca obiect de studiu mediul geografic. În acest context, geografia apelează la rezultatele obținute de științele care studiază Pământul pentru investigațiile sale.

Dacă în trecut Pământul era considerat static, cu transformări superficiale minime, astăzi este dovedit că el se află în plină evoluție. Omul este capabil să înregistreze cu ajutorul tehnicilor spațiale, mari porțiuni din suprafața terestră și poate surprinde fenomene largi de transformare a acesteia și a învelișurilor sale, transformări ce modifică mediul geografic. De aici, necesitatea de a aplica în geografie metode exacte, matematice, pentru a urmări cît se poate de precis transformările planetei noastre și efectul lor asupra vieții umane.

Sfera preocupărilor cercetătorilor geografi tinde să se extindă cuprinzînd atît Luna pe care omul a călcat, cît și acele corpuri cerești pe care acesta le studiază în cadrul misiunilor spațiale și pe care va ajunge în viitor.

Omul iese astăzi din „găoacea“ planetei sale pentru a cunoaște colțul din Univers în care se află. În această evadare intervin noi condiții naturale pentru cercetarea cărora participă geograful, alături de specialiștii altor discipline, care dispun de metodele adecvate acestei cercetări. Pentru astronom Luna este doar un punct de sprijin de unde poate vedea mai bine, mai departe, în timp ce pentru geograf reprezintă un foarte ademenitor obiect de studiu menit să-i generalizeze legile terestre sau să i le infirme. Selenograful, credem că va fi geograful care se va descurca bine pe suprafața Lunii, cu metodele sale terestre, apelînd și la realizările altor științe.

Pe baza acestor idei a fost scrisă lucrarea de față, în care se înmănunchează noțiuni cu privire la: studiul formei și dimensiunilor Pământului (geodezie), câmpul său gravitațional, măsurarea suprafeței terestre (topografie), cercetarea suprafeței terestre din spațiul aerian și cel cosmic (fotogrammetrie-teledetecție), reprezentarea acestei suprafețe pe hartă (cartografie), astronomia practică, cercetarea satelitului natural al Pământului, Luna, cu mijloace astronomice și de teledetecție, sau chiar la fața locului, necesare lărgirii sferei de acțiune a geografiei.

Departa de a epuiza problemele moderne ale geografiei ca și cele abia inițiate ale selenografiei, prezenta lucrare face o modestă încercare de a sugera metode precise și moderne acelor care doresc să contribuie la cercetarea mediului geografic și a spațiului cosmic.

Octombrie 1980

Autorii

1 FORMA ȘI DIMENSIUNILE PĂMÎNTULUI

Necesitatea cunoașterii formei și dimensiunilor Pământului a apărut ca urmare a căutărilor unor soluții pentru problemele ridicate de practică, în diferite etape ale dezvoltării societății.

Dezvoltarea măsurătorilor terestre de-a lungul mileniilor a fost legată de însăși dezvoltarea societății.

1.1. ISTORICUL MĂSURĂRII PĂMÎNTULUI

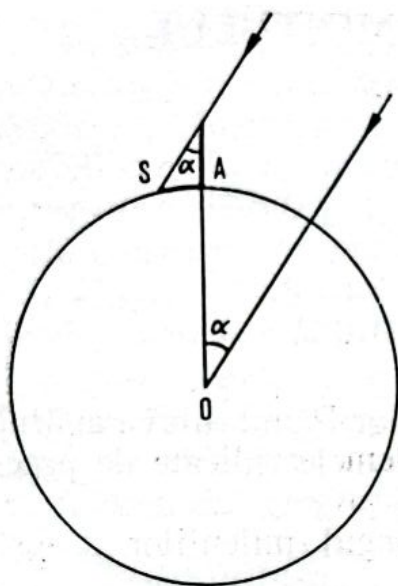
Măsurătorile terestre au format obiectul unei științe vechi, începând să fie legate de necesitatea cunoașterii regiunii locale și înconjurătoare, odată cu apariția proprietăților, a construcțiilor de orașe, a monumentelor mari, a drumurilor etc.

În antichitate, ideea că Pământul este plan, cu dimensiunile limitate la linia orizontului și înconjurat de ape, favoriza prea puțin dezvoltarea acestei științe.

Expedițiile lui Alexandru Macedon (secolul 4 î.e.n.) au lărgit noțiunile geografice ale timpului; stabilirea dimensiunilor terestre apărea din ce în ce mai necesară, distanțele fiind exprimate în zile de marș.

Prima măsurare reală, științifică, asupra dimensiunilor Pământului a fost întreprinsă de Eratostene din Alexandria (276—194 î.e.n.) care a determinat circumferința terestră prin măsurarea unui arc de meridian între două localități din Egiptul antic, situate pe paralelele extreme ale acestei țări, Alexandria și Siena (astăzi Assuan). Eratostene a observat că în ziua solstițiului de vară (21 iunie), o fântână situată pe ostrovul Elefantina din fața Sienei, pe Nil, era luminată în întregime, deci distanța zenitală a Soarelui în acel punct situat pe tropic era nulă (Soarele se afla la zenitul acelui loc). La aceeași dată, la Alexandria, Eratostene măsoară umbra unui gnomon (baston), de fapt distanța zenitală a Soarelui și a găsit o valoare egală cu $1 : 50$ din circumferința terestră; în grade, $\alpha = 7^{\circ}12'$ (figura 1.1). Unghiul α , determinat prin raportul dintre umbră și înălțimea gnomonului, este egal cu unghiul la centru ce subîntinde arcul de meridian dintre cele două localități.

Fig. 1.1. Determinarea arcului de meridian în Egiptul antic de către Eratostene.



Din registrele de cadastru ale timpului, Eratostene a extras valoarea distanței dintre cele două localități, egală cu aproximativ 5 000 stadii egiptene (1 stadie $\approx$ 162 m). Atunci arcul de 1° pe meridian va fi egal cu

$$\text{arc } 1^\circ = \frac{5000}{7,2} = 694,4 \approx 700 \text{ stadii.}$$

Astfel rezultă circumferința Pământului: $5\,000 \text{ stadii} \times 50 \times 162 \text{ m} = 40\,500\,000 \text{ m}$, în loc de $40\,000\,000 \text{ m}$ cât se consideră astăzi prin măsurători moderne.

Diferența dintre valoarea obținută de Eratostene și cea actuală rezultă pe de o parte din eroarea de determinare a diferenței zenitale dintre cele două localități și pe de altă parte din faptul că cele două localități nu se află situate pe același meridian, diferența de longitudine dintre ele fiind $2^\circ 53'$. În același timp, nu se cunoaște exact corespondentul în metri al stadii egiptene și nici poziția exactă, în Alexandria, unde a fost fixat gnomonul.

Eratostene și-a dat seama, în urma măsurărilor efectuate, că lumea cunoscută a timpului său — din Insulele Canare și pînă în China — reprezintă numai jumătate din globul terestru (180° longitudine).

Posidonius a determinat mai târziu arcul de 1° pe meridian, în urma măsurătorii efectuate între Arhipelagul Rodos și Alexandria. El a observat că la Rodos, steaua Canopus, în momentul trecerii la meridian, pare că atinge suprafața mării, în timp ce la Alexandria are o înălțime de $7^\circ 30'$ deasupra orizontului. Măsurînd pe mare distanța dintre cele două puncte, a găsit 500 stadii, greșeală rezultată dintr-o determinare

eronată a diferenței de înălțime a stelei Canopus, cauzată de necunoașterea, la acea dată, a refracției atmosferice.

Ptolémeu, în secolul 2 e.n., a preluat măsurătorile lui Eratostene și a determinat arcul de 1° tot de 500 stadii.

O contribuție importantă la dezvoltarea științelor au avut-o și arabii, care au preluat, dezvoltat și transmis cunoștințele din Grecia antică. Măsurătorile efectuate în Siria și Mesopotamia au dat lungimea arcului de 1° de asemenea de 500 de stadii.

În evul mediu, sub influența bisericii, s-au adoptat formulări neștiințifice. Astfel, s-a renunțat la adevărul referitor la forma Pământului, revenindu-se la părerea că acesta este plat; de asemenea, hărțile întocmite în această perioadă, în afară de faptul că sînt inexacte, sînt ornamentate cu diferite scene biblice.

Greșelile apărute în lucrările cartografice ale timpului au influențat și marile călătorii pentru descoperirea de noi teritorii, din timpul Renașterii. Numai astfel se poate explica greșala lui Columb, care, folosind harta lui Toscanelli (1492) și deplasîndu-se cu 100° spre vest, a crezut că a atins țărmurile Asiei, cînd, pînă acolo, după calculele lui Eratostene, trebuia să mai navigheze încă 100° .

Pe la mijlocul secolului 16, astronomul francez Fernel a determinat mărimea arcului de meridian dintre Paris și Amiens. Pentru măsurarea distanței dintre cele două localități, el a instalat la trăsura un aparat înregistrator al rotirilor roții (podometru), găsind arcul de $1^\circ = 57\ 070$ toise (1 toise = 1,95 m).

În a doua jumătate a secolului 16 sînt cunoscute importante lucrări cartografice ale lui Mercator și Ortelius, iar la începutul secolului 17 (1609), Galileo Galilei a construit o lunetă care, ulterior, va fi utilizată și în observațiile pentru măsurători terestre.

În anul 1615, astronomul Snellius a determinat, printr-o metodă nouă, arcul de meridian între două localități, Bergen op Zoom și Alkmaar, egal cu 55 020 toise. Metoda sa se bazează pe măsurarea indirectă a arcului, prin acoperirea zonei din lungul meridianului ce trece prin cele două localități cu triunghiuri adiacente (lanț de triunghiuri), cărora le măsura unghiurile și o latură la primul triunghi. Această metodă, *metoda triangulației*, a rămas pînă astăzi la baza măsurătorilor de geodezie și topografie.

În a doua jumătate a secolului 17, Picard, astronom francez, a determinat arcul de 1° pe meridian prin măsurători și mai precise. El a utilizat metoda triangulației și a efectuat observațiile cu ajutorul lunetei cu reticul, obținînd maximum de precizie pentru acel timp. După Picard arcul de 1° pe meridian are 57 060 toise. Pe baza indicațiilor date de Picard, a început construirea primului lanț de triangulație în Franța, între Dunkerque și Perpignan, care traversează această țară

de la Marca Mîneei la Marca Mediterană; lucrările s-au efectuat sub conducerea astronomilor Cassini și Lahire.

La sfîrșitul secolului 17 și începutul secolului 18, noile descoperiri ale științei asupra forței centrifuge și observațiile astronomice efectuate asupra altor planete (Jupiter), au condus la ideea că Pămîntul este turtit la poli. Această ipoteză a fost demonstrată de Newton, care a arătat teoretic că o sferă lichidă cu aceeași rotație ca a globului terestru prezintă o turtire la poli de 1 : 230. Dovada turtirii Pămîntului la poli o constituie lungimea arcului de meridian, care crește de la ecuator spre poli. Cele două expediții astrono-mo-geodezice trimise de Academia de științe din Paris, una în regiunea ecuatorului (Peru) și alta în nordul Europei (Laponia), după măsurătorile efectuate, au comunicat următoarele rezultate: în Peru, arcul de 1° pe meridian este egal cu 56 437 toise, iar în Laponia de 57 737 toise. Astfel, s-a dovedit prin măsurători, că Pămîntul este turtit la poli (arcul de 1° pe meridian este mai mare la pol decît la ecuator). Conducătorul primei expediții, Clairaut, a publicat în anul 1743 lucrarea *Teoria figurii Pămîntului* în care a prezentat legătura existentă între turtirea geometrică și cea gravimetrică, ca și concluziile sale cu privire la variația gravitației cu latitudinea.

Ca urmare a acestor măsurători terestre cu rezultate atît de importante, mai multe state au început să-și determine rețele proprii de triangulație, să efectueze primele măsurători geodezice.

În Franța, sub conducerea astronomului Delambre, s-a verificat arcul de meridian Dunkerque — Perpignan și s-a prelungit pînă la Barcelona, ulterior pînă în Insula Formentera (Arhipelagul Baleare). Mari măsurători geodezice s-au executat de asemenea, în Marca Britanie, Prusia, Italia, Rusia, S.U.A. și alte țări.

În secolul 19, în Rusia s-a măsurat un arc de meridian de 25° , între Oceanul Înghețat (nordul Norvegiei) și gurile Dunării, sub conducerea astronomilor Struve și Tennér. Aceste măsurători au făcut posibilă determinarea turtirii Pămîntului — 1 : 298,6.

Franța și Marca Britanie și-au legat (racordat) triangulațiile peste Marca Mîneei, iar Spania și-a extins lanțul de triangulație din nordul peninsulei pînă în Sierra Nevada, unindu-l cu rețeaua algeriană peste Marca Mediterană. În felul acesta, s-a ajuns la un lanț de triangulație geodezică cu o amplitudine de 17° , între Insulele Shetland (Marca Britanie) și Laghouat (Algeria).

La măsurătorile de arce de meridian din Europa, se adaugă măsurătorile în lungul paralelelor. Mai importante, sînt lanțurile de triangulație geodezică de 65° amplitudine, în lungul paralelului de 51° latitudine nordică, între Valencia (vestul Irlandei) și Munții Ural și lanțul pe paralelul de $47^\circ 30'$ latitudine nordică, între Brest (Franța) și Astrahan (U.R.S.S.).

Aparatelor geodezice și topografice cu care se efectuează măsurătorile li se aduc perfecționări cerute de necesitatea gradului de exactitate al hărților. Apar noi metode de lucru, mai rapide și mai precise. În a doua jumătate a secolului 19, începe să se aplice fotogrammetria, care în secolul 20 se transformă într-o nouă ramură a științei măsurătorilor, foarte rapidă în comparație cu determinările clasice, ieftină și suficient de precisă și fidelă.

Noile aparate și utilaje apărute în domeniul fotogrammetriei, aparatele electrooptice și radiogeodezice (telurometrele, radiotelemetrele) pentru măsurătorile din teren, ca și aparatura electronică (folosită prima dată de Howard Fisher în 1963) care utilizează ordinatele (computerele) pentru programarea și trasarea automată a hărților, permit elaborarea hărții unei țări într-un timp foarte scurt și cu mare precizie.

Astăzi majoritatea țărilor lumii își construiește harta proprie, în sistemul internațional de proiecție Gauss-Krüger, utilizând cele mai moderne aparate și procedee de măsurare și reprezentarea grafică.

În țara noastră, primele preocupări științifice asupra măsurătorilor terestre au apărut în secolul 18. La început, domnitorii români cheamă în slujba lor învățați străini sau sprijină formarea unor cadre autohtone pentru a le folosi la măsurători geografice (C. Brîncoveanu). Spre sfîrșitul secolului 18, apar mai multe hărți separate ale Principatelor române, întocmite de diferiți topografi, la cererea domnitorilor.

În timpul lui Constantin Brîncoveanu (1688—1714), Cr. Notara a efectuat măsurători de coordonate geografice la București și Tîrgoviște iar Constantin Cantacuzino a întocmit harta Țării Românești, tipărită în anul 1700 la Padova.

Dimitrie Cantemir (1673 — 1723), a realizat harta Moldovei cu rețeaua de meridiane și paralele, originea longitudinilor fiind meridianul Ferro din Insulele Canare*. Relieful, pe harta lui Cantemir, este redat prin movile, iar pădurile prin copaci. Harta a fost tipărită mai târziu, în anul 1737, la Amsterdam.

La începutul secolului 19, Gh. Asachi în Moldova (1813) și Gh. Lazăr în Țara Românească (1818), au organizat școli de inginerie în care se studiau măsurătorile terestre, geodezia, cu aplicații speciale la hotărnicie și ulterior la drumuri și poduri. La școala lui Lazăr de la Sf. Sava a luat ființă cursul de „geodezie și inginerie a câmpului“.

În a doua jumătate a secolului 19, în timpul domnitorului Al.I.Cuza, s-a deschis o campanie de măsurători (1864) pentru reglementarea raporturilor dintre țărani și moșieri. Tot în această perioadă a fost introdus în țară și *sistemul metric*.

* Meridianul Ferro: $\lambda = 17^{\circ}40'$ V Greenwich.

Între anii 1855—1857 s-a ridicat harta Olteniei și Munteniei la scara 1 : 57 000 care s-a tipărit apoi la Viena, în anul 1864. La această lucrare mare (112 planșe) au participat topografi români și austrieci, sub conducerea lui Fligely.

În anul 1868 a luat ființă „Depositul științific de resbel” precursorul Institutului geografic militar de mai târziu, iar după câțiva ani (1873) a început, din nordul Moldovei, ridicarea hărții țării la scara 1 : 20 000, în proiecție pseudoconică Bonne.

În Transilvania, din aceeași perioadă, s-a păstrat harta topografică la scara 1 : 75 000, cu relieful reprezentat prin hașuri.

Începînd cu anul 1930, s-a trecut la întocmirea hărții topografice unitare a țării, utilizîndu-se un sistem unic de reprezentare, proiecția stereografică secantă și elipsoidul Hayford.

Din anul 1951, s-a adoptat elipsoidul de referință Krasovski și s-a trecut la construirea hărții topografice de bază a țării la scara 1 : 25 000, în proiecție cilindrică ecuatorială (Gauss-Krüger)*.

În operațiile topografo-geodezice au fost introduse metode și aparate moderne de măsurare și calcul; s-au înființat institute și școli speciale de geodezie, topografie și cartografie.

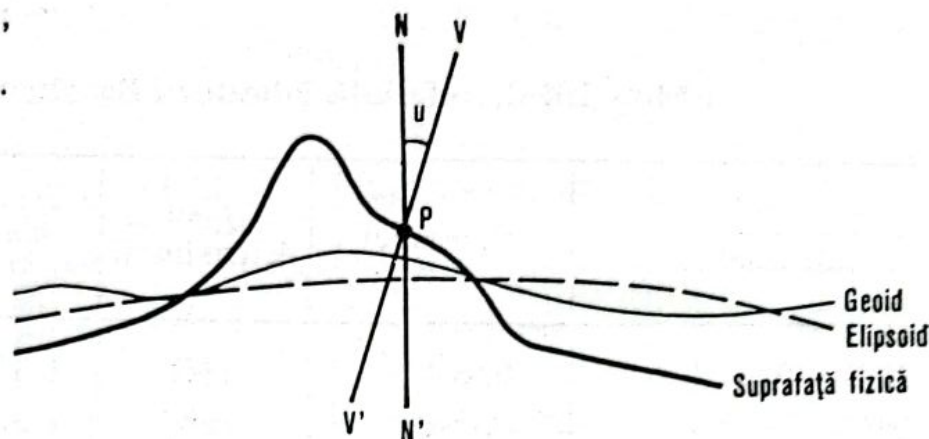
1.2. FORMA ȘI DIMENSIUNILE PĂMÎNTULUI

După măsurătorile de arce de meridian inițiate de Academia franceză, s-a convenit că forma generală a Pămîntului este de *sferoid*, respectiv a unui *elipsoid de rotație*, obținut prin rotirea unei elipse în jurul axei mici. Deoarece elipsoidul este foarte puțin turtit (diferența între semiaxele elipsei este neînsemnată), el se apropie de sferă cu care se confundă dacă este privit dintr-un punct de perspectivă îndepărtat. Forma Pămîntului nu coincide cu a elipsoidului de rotație, datorită undulațiilor pe care le are, în funcție de repartizarea inegală a maselor continentale și a Oceanului Planetar, de structura scoarței terestre etc. De aceea s-a stabilit unanim că Pămîntul are o formă proprie numită *geoid***, convențională, definită prin nivelul mediu al oceanelor și mărilor (în stare liniștită), prelungit pe sub continente. Deoarece Oceanul Planetar constituie 71 % din suprafața totală a Pămîntului, acesta poate defini forma sa generală.

* În prezent există hărți topografice de bază la scările 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000 și mai mici pentru întreg teritoriul țării, iar pentru scări mari (1 : 5 000 și 1 : 10 000) pentru aproximativ 80 % din suprafața țării.

** Denumirea de geoid a fost dată de astronomul englez Listing.

Fig. 1.2. Elipsoid,
geoid, suprafață
topografică (fizică).



Întrucît formulele sferoidului terestru cer calcule laborioase pentru determinarea coordonatelor punctelor și a lungimilor de arce pe suprafața acestuia, în geodezie s-a adoptat un corp geometric calculabil, foarte apropiat de geoidul natural și anume *elipsoidul de referință*. Ondulațiile geoidului față de suprafața geometrică a elipsoidului au valori relativ mici mai ales din punct de vedere unghiular, unde deviația verticalei (unghiul format de normalele la cele două suprafețe) rareori depășește $9''$; în ceea ce privește abaterea altimetrică, aceasta înregistrează valori medii de $\pm 16,8$ m (fig. 1.2), valorile maxime fiind de aproximativ ± 150 m.

Cele două suprafețe atît de apropiate ca dimensiuni se confundă, în consecință, suprafața topografică se proiectează pe elipsoidul de referință care este cunoscut din punct de vedere geometric și nu pe geoid, pentru care și în prezent se execută măsurători pentru determinarea lui cît mai exactă (a se vedea figura 8.8).

În ceea ce privește măsurătorile altimetrice, suprafața de referință este geoidul, dată fiind diferența apreciabilă de nivel dintre cele două suprafețe. De aceea originea altitudinilor se consideră suprafața de nivel zero, suprafața mărilor și oceanelor.

Rezultă de aici că în practica geodezică se folosesc două suprafețe de referință: suprafața elipsoidului pentru planimetrie și suprafața geoidului pentru altimetrie.

Măsurătorile geodezice pentru determinarea elementelor elipsoidului terestru, efectuate începînd cu secolul 19 și continuînd și în prezent, prin folosirea sateliților artificiali ai Pămîntului, au dat diferite rezultate pentru semiaxele elipsei meridiene (a , b) ca și pentru turtirea (f), definită ca raport între diferența semiaxelor prin semiaxa mare sau semiaxa mică a Pămîntului.

Pe baza măsurătorilor executate au fost determinați diferiți elipsoizi de referință, în tabelul 1.1 fiind prezentați cei utilizați în România în

Elipsoizii de referință folosiți în România

Perioada de utilizare	Elipsoidul	Anul determinării	Semi-axa mare a km	Turtirea f
1873—1916	Bessel	1841	6 377,397	1 : 299,2
1916—1930	Clarke	1880	6 378,243	1 : 293,5
1930—1951	Hayford	1909	6 378,388	1 : 297,0
1951—prezent	Krasovski	1940	6 378,245	1 : 298,3

diferite perioade, iar în tabelul 1.2 elipsoizii determinați în ultima perioadă; se dau parametrii lor geometrice principali.

Elementele elipsoidului Hayford au fost folosite, conform recomandărilor Congresului Internațional de Geodezie și Geofizică din anul 1924, la determinarea dimensiunilor Pământului.

Raza medie a sferei terestre se calculează cu relația

$$R_m = \frac{a + b}{2} \quad \text{sau} \quad R_m = \frac{2a + b}{3}. \quad (1.1)$$

Pentru elipsoidul Krasovski, utilizat în prezent în România, se cunosc: $a = 6\,378,245$ km, $b = 6\,356,863$ km și $f = 1 : 298,3$.

Dimensiunile principale ale Pământului, calculate pe baza valorilor noi ale elipsoidului de referință sînt:

— lungimea ecuatorului	40 075,704 km
— lungimea meridianului	40 008,548 km
— lungimea medie a arcului de meridian de 1°	111,135 km
— raza medie a Pământului	6 371,11 km
— suprafața Pământului	510 083 000 km ²
— suprafața Oceanului Planetar	361 455 000 km ²
— suprafața uscatului	148 628 000 km ²

După al doilea război mondial, au continuat determinările elementelor elipsoidului terestru, iar din 1957 și cu ajutorul sateliților artificiali ai Pământului.

Tabelul 1.2

Elipsoizi de referință determinați după anul 1940

Elipsoidul	Anul determinării	Semi-axa mare a km	Turtirea f
Jeffreys	1948	6 378,099	1 : 297,1
Ledensteger	1951	6 378,298	1 : 297,0
Hough	1956	6 378,260	1 : 297,0
Fischer	1960	6 378,155	1 : 298,3
Australian „165“	1962	6 378,165	1 : 298,3
Kaula	1964	6 378,160	1 : 298,247
Veis	1964	6 378,169	1 : 298,25
Rapp	1967	6 378,157	1 : 298,25 $\pm$ 0,02

Uniunea Astronomică Internațională a recomandat utilizarea elipsoidului de referință Kaula.

2 CÎMPUL GRAVITAȚIONAL AL PĂMÎNTULUI

Studiul formei Pământului este strîns legat de acel al cîmpului gravitațional. Masa Pământului generează cîmpul gravitațional care se poate măsura și studia, oglindind forma și distribuția acesteia.

2.1. POTENȚIALUL GRAVITAȚIONAL AL PĂMÎNTULUI

Orice cîmp gravitațional este caracterizat printr-un anumit potențial. Fie dm un element din masa M a Pământului, care acționează asupra masei unitate exterioară, aflată la distanța S . Să considerăm un sistem de coordonate, cu originea în centrul masei terestre, axa de rotație fiind considerată ca axă Oz , iar axele Ox și Oy , perpendiculare pe Oz , definind planul ecuatorului. Masa unitate are coordonatele $\bar{x}$, $\bar{y}$, $\bar{z}$ sau r , λ , φ iar elementul dm coordonatele x , y , z la distanța ρ de centru (figura 2.1).

Potențialul gravitațional este

$$V = G \int \frac{dm}{s} \quad (2.1)$$

unde $G = (6\,673 \pm 0,003) \times 10^{-8} \text{ cm}^3/\text{g} \cdot \text{s}^2$ este constanta gravitațională newtoniană. Notînd cu ψ unghiul format de vectorii de poziție a masei dm și a masei unitate, se poate scrie

$$S^2 = r^2 + \rho^2 - 2r\rho \cos \psi = r^2 \left[1 + \frac{\rho^2}{r^2} - 2 \frac{\rho}{r} \cos \psi \right] = r^2 (1 + t)$$

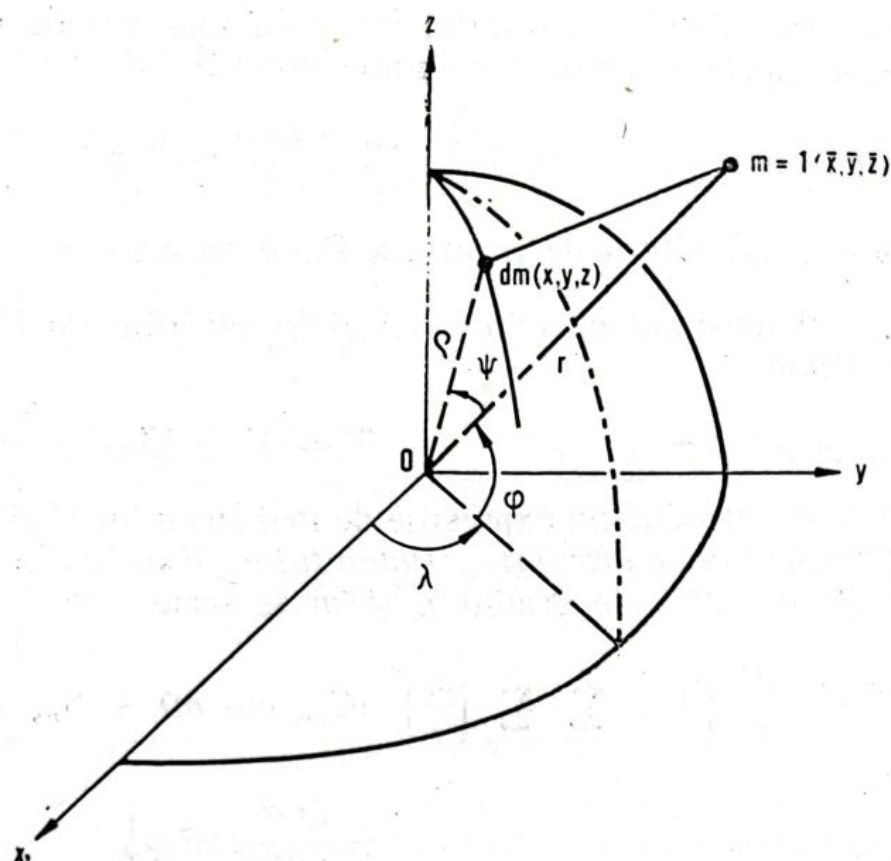
de unde

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{r} (1 + t)^{-1/2}, \text{ în care } t = \frac{\rho^2}{r^2} - 2 \frac{\rho}{r} \cos \psi.$$

Introducînd dezvoltarea binomială a lui $1/S$, se obține

$$V = \frac{G}{r} \int_M dm - \frac{G}{r} \int_M \frac{t}{2} dm + \frac{G}{r} \int_M \frac{3t^2}{8} dm - \frac{G}{r} \int_M \frac{5t^3}{16} dm + \dots \quad (2.2)$$

Fig. 2.1. Acțiunea unui element dm asupra masei unitate din exterior.



sau

$$V = V_0 + V_1 + V_2 + V_3 + \dots = \sum_{n=0}^{\infty} V_n. \quad (2.3)$$

Calculînd fiecare integrală în parte și introducînd coordonatele polare rezultă

$$V = \frac{GM}{r} + \frac{G}{r^3} \left\{ \frac{2C - (A + B)}{4} (1 - 3 \sin^2 \varphi) + (3E \cos \lambda + 3D \sin \lambda) \sin \varphi \cos \varphi + \left[\frac{3}{4} (B - A) \cos 2\lambda + \frac{3}{2} F \sin 2\lambda \right] \cos^2 \varphi \right\} \quad (2.4)$$

unde

$$A = \int_M (y^2 + z^2) dm \quad B = \int_M (x^2 + z^2) dm \quad C = \int_M (x^2 + y^2) dm$$

$$D = \int_M yz dm \quad E = \int_M zx dm \quad F = \int_M xy dm$$

sînt momentele de inerție. Datorită mișcării de rotație a Pămîntului, apare forța centrifugă de unde potențialul ei

$$V' = \frac{\omega^2 r^2}{2} \cos^2 \varphi \quad (2.5)$$

ω — fiind viteza de rotație a Pămîntului.

Potențialul gravitațional al Pămîntului va fi suma celor două potențiale

$$W = V + V' \quad (2.6)$$

în care introducînd expresiile de mai sus a lui V și V' , se obține *funcția geopotențială a gravitației Pămîntului*. Exprimată cu ajutorul funcțiilor Legendre P_{nm} de gradul n și m se scrie

$$W = \frac{GM}{r} \left\{ 1 + \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a_e}{r} \right)^n (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\sin \varphi) + \right. \\ \left. + \frac{\omega^2 r^3}{2 GM} \cos^2 \varphi \right\} \quad (2.7)$$

unde a_e — este raza ecuatorială a Pămîntului, iar C_{nm} și S_{nm} — sînt coeficienții de masă a lui Stokes, care depind de distribuția masei Pămîntului și definesc cîmpul gravitațional V . O serie de valori ale acestor coeficienți a fost determinată din observațiile cu sateliții artificiali ai Pămîntului de către Gaposchkin.

Funcția W este, împreună cu derivatele sale de ordinul întîi, uniformă, continuă, avînd derivate de ordinul doi și satisfăcînd ecuația lui Poisson

$$\frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 W}{\partial z^2} = 2 \omega^2 - 4\pi G\sigma \quad (2.8)$$

unde σ — este densitatea materiei în punctul considerat. $W = \text{constant}$ se numește *suprafață geopotențială*. Suprafața geopotențială care coincide mai mult cu suprafața medie neperturbată a oceanelor se numește *geoid*, $W = W_g$. Ea reprezintă forma Pămîntului în prima aproximație teoretică. Dacă Pămîntul ar fi perfect sferic și cu o simetrie sferică a masei sale, funcția sa geopotențială ar deveni

$$V = \frac{GM}{r}. \quad (2.9)$$

Componentele accelerației

$$\frac{\partial V}{\partial x} = -\frac{GM}{r^3} x; \quad \frac{\partial V}{\partial y} = -\frac{GM}{r^3} y; \quad \frac{\partial V}{\partial z} = -\frac{GM}{r^3} z \quad (2.10)$$

sînt și componentele forței atracției universale

$$F = \frac{GM}{r^2}.$$

Suma dublă din expresia funcției geopotențiale este deci perturbația produsă de forma nesferică și de nesimetria distribuției masei terestre

$$R = \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=0}^n \frac{GM}{r} \left(\frac{a_e}{r}\right)^n (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\sin \varphi). \quad (2.11)$$

2.2. PĂMÎNTUL NORMAL

Expresia de mai sus a funcției geopotențiale este generală și redă cel mai bine suprafața medie (fără forme de relief) a Pămîntului, dar are neajunsul că este prea complicată. Se poate obține o simplificare a ei, admitînd anumite simetrii în distribuția masei:

— simetrie în raport cu axa de rotație Oz , considerată ca axă principală de inerție; în acest caz avem o simplificare a momentelor de inerție $A = B$, $D = E = F = 0$ sau echivalentul lor $S_{nm} = 0$, $C_{nm} = 0$ pentru $m > 0$;

— simetrie în raport cu planul ecuatorial, adică $S_{n0} = 0$;

— neglijarea termenilor de ordin superior lui patru.

Modelul satisfăcînd aceste ipoteze se numește *Pămînt normal* iar funcția sa geopotențială, numită *funcție sferopotențială* U ia forma mai simplă

$$U = \frac{GM}{r} + \frac{GM}{r} \left\{ \sum_{n=2,4} \left(\frac{a_e}{r}\right)^n C_{n0} P_{n0}(\sin \varphi) + \frac{\omega^2 r^3}{2 GM} \cos^2 \varphi \right\}. \quad (2.12)$$

Suprafețele echipotențiale $U = \text{constant}$ se numesc suprafețe sferopotențiale sau sferop. Suprafața cu aceeași constantă ca și a geoidului $U = W_g$ se numește *sferoid* și reprezintă aproximația de ordinul doi a formei corecte a Pămîntului.

Dacă se neglijează în expresia f a turtirii Pămîntului, termenii de ordin superior lui doi, se obține *elipsoidul terestru*, adică elipsoidul de

rotație care are același volum ca și geoidul. El reprezintă a treia aproximație a suprafeței teoretice a Pământului. Turtirea sa este

$$f = \frac{a-b}{a} = 0,001730342 - \frac{3\sqrt{5}}{2} C_{20} - \frac{15}{8} C_{40}. \quad (2.13)$$

Accelerația gravitațională a Pământului normal, numită *gravitație normală* γ la suprafața elipsoidului terestru, este

$$\gamma = \frac{\partial U}{\partial r} = \gamma_e (1 + \beta \sin^2 \Phi + \beta_1 \sin^2 2\Phi) \quad (2.14)$$

unde gravitația normală ecuatorială γ_e este

$$\gamma_e = \frac{GM}{a_e^2} \left(1 + f - \frac{3}{2} q - \frac{3}{7} qf + f^2 \right) \quad (2.15)$$

iar

$$\beta = \frac{5}{2} \bar{q} - f - \frac{17}{14} \bar{q} f + \frac{15}{4} \bar{q}^2 \quad (2.16)$$

$$\beta_1 = \frac{1}{8} f^2 - \frac{5}{8} \bar{q} f$$

$$\operatorname{tg} \Phi = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{(1-f)^2}$$

și

$$\bar{q} = \frac{\omega^2 a^3}{GM} (1-f) = q (1-f).$$

Din determinările recente rezultă pentru elipsoidul de referință determinat în anul 1967 (a se vedea tabelul 1.2)

$$- a = 6\,378\,157,5 \pm 10,8 \text{ m}$$

$$- 1/f = 298,25 \pm 0,02$$

$$- \gamma_e = 978,0284 \pm 0,0022 \text{ cm/s}^2$$

$$- W_g = (6\,263\,678,8 \pm 10,6) \times 10^5 \text{ cm}^2/\text{s}^2$$

$$- GM = (3\,986\,013 \pm 0,000010) \times 10^2 \text{ cm}^3/\text{s}^2.$$

În determinările de mică precizie s-a mai introdus o simplificare: elipsoidul a fost înlocuit cu o sferă care are același volum (sau masă) ca și elipsoidul, avînd raza

$$R = a \sqrt[3]{1-f}. \quad (2.17)$$

Sfera reprezintă a patra aproximație a suprafeței teoretice a Pământului.

Din cele de mai sus rezultă că se poate aproxima suprafața reală a Pământului cu patru categorii de suprafețe teoretice — sfera, elipsoidul, sferoidul, geoidul — cu aproximație crescândă, ele prezentînd avantajul redării lor prin formule, de unde posibilitatea reprezentării lor.

2.3. ELEMENTELE DE BAZĂ ALE SUPRAFETELOR DE REFERINȚĂ. SISTEME DE COORDONATE

Sfera terestră este aproximația cea mai îndepărtată a suprafeței terestre, avînd comun cu aceasta doar volumul. Elementele ei sînt identice cu acelea ale sferei cerești (a se vedea capitolul 6).

Elipsoidul terestru este elipsoidul de rotație generat prin rotația unei elipse în jurul axei sale mici. El e definit prin cele două semiaxe a și b , avînd ecuația

$$\frac{x^2 + y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1. \quad (2.18)$$

Se mai poate defini prin semiaxa mare a și prin

- turtirea $f = \frac{a - b}{a}$
- prima excentricitate $e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}} = \sqrt{2f - f^2}$ sau
- a doua excentricitate $e' = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{b^2}}$.

În mod analog, ca și la sfera cerească se definesc elementele de pe elipsoidul terestru, numite elemente geodezice: ecuatorul geodezic, paralelele geodezice, polii geodezici, meridianele geodezice. Fie un punct P pe elipsoid (figura 2.2); tangentele în P , la meridianul și paralelul geodezic corespunzătoare acestui punct, determină planul tangent în P . Perpendiculara în P pe planul tangent se numește *normală geodezică*. Unghiul Φ format de normala geodezică în P cu planul ecuatorului geodezic se numește *latitudine geodezică* a punctului P . Unghiul format de planul meridian geodezic al punctului P , cu planul meridian geodezic zero este *longitudinea geodezică* a lui P . Longitudinea și latitudinea geodezică formează *coordonatele geodezice* ale punctului P . Dar normalele geodezice nu trec prin centrul elipsoidului. Pentru a raporta poziția unui punct al elipsoidului la centrul lui, se introduc două noțiuni suplimentare: raza geocentrică $\rho = OP$ (vectorul de poziție al

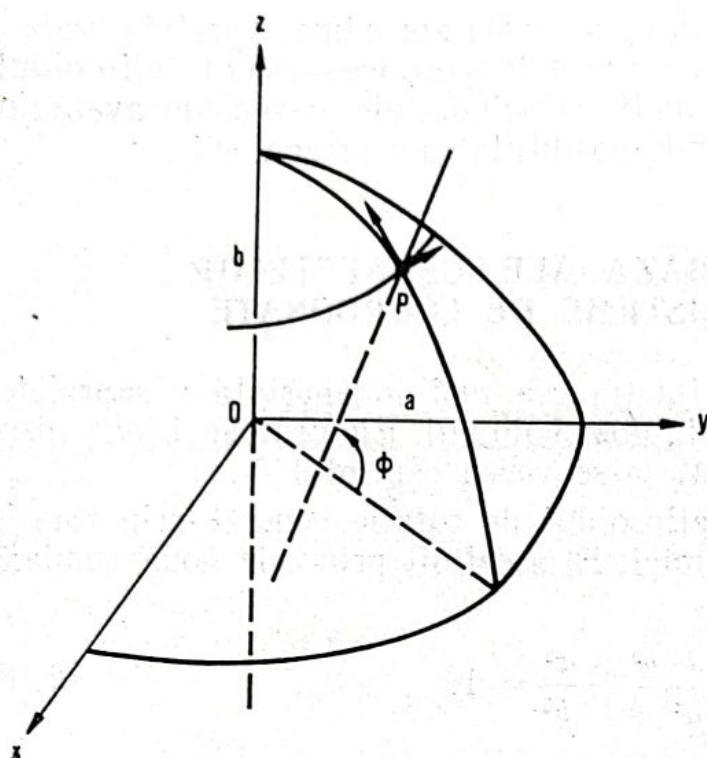


Fig. 2.2. Semiaxele a și b ale elipsoidului terestru și latitudinea geodezică Φ .

punctului P) și latitudinea geocentrică Φ' , care este unghiul format de raza geocentrică cu planul ecuatorului. Raza și latitudinea geocentrică împreună cu longitudinea geodezică ρ , Φ' și L formează *coordonatele geocentrice* ale punctului P . Trecerea de la coordonatele geodezice L, Φ la cele geocentrice ρ, L, Φ' se face în modul următor (figura 2.3):

Se consideră meridianul geodezic prin P , a cărei ecuație este

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1$$

iar turtirea și excentricitatea sînt menționate mai sus. Din figură se vede că

$$\operatorname{tg} \Phi' = \frac{z}{x}$$

iar

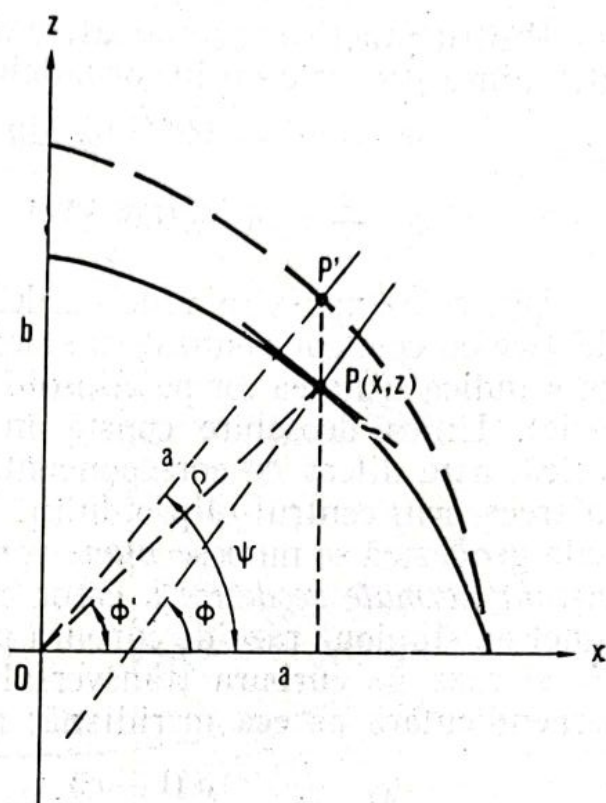
$$\operatorname{tg} \Phi = -\frac{dx}{dz} \quad (2.19)$$

este coeficientul unghiular al normalei.

Ecuația tangentei în P este (prin dedublare)

$$\frac{x dx}{a^2} + \frac{z dz}{b^2} = 0$$

Fig. 2.3. Legătura dintre latitudinea geocentrică Φ' și cea geodezică Φ .



de unde

$$\frac{z}{x} = -\frac{b^2}{a^2} \frac{dx}{dz}.$$

Ținând seama de expresiile lui $\operatorname{tg} \Phi'$ și $\operatorname{tg} \Phi$ se obține

$$\operatorname{tg} \Phi' = \frac{b^2}{a^2} \operatorname{tg} \Phi = (1 - e^2) \operatorname{tg} \Phi = (1 - f)^2 \operatorname{tg} \Phi \quad (2.20)$$

relația dintre latitudinea geodezică și cea geocentrică.

Scriind coordonatele punctului P

$$\begin{aligned} x &= \rho \cos \Phi' = a \cos \psi \\ z &= \rho \sin \Phi' = b \sin \psi = a \sqrt{1 - e^2} \sin \psi \end{aligned} \quad (2.21)$$

unde unghiul auxiliar ψ (numit și *latitudine redusă*) este dat de relația (dedusă prin împărțirea celor două relații anterioare)

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{a}{b} \operatorname{tg} \Phi' = \frac{b}{a} \operatorname{tg} \Phi = \sqrt{1 - e^2} \operatorname{tg} \Phi \quad (2.22)$$

iar raza geocentrică ρ

$$\rho^2 = a^2 (1 - e^2 \sin^2 \psi). \quad (2.23)$$

Pentru practică, coordonatele geocentrice se exprimă în funcție de latitudinea geodezică prin formulele

$$\begin{aligned} \Phi - \Phi' &= 692'',62 \sin 2\Phi - 1'',16 \sin 4\Phi \\ \frac{\rho}{a} &= 1 - 0,0033245 \sin^2 \varphi - 0,000285 \sin^4 \varphi. \end{aligned} \quad (2.24)$$

Din cele expuse se vede că definițiile elementelor pe elipsoid sînt identice cu cele corespunzătoare sferei; s-au numit toate geodezice, pentru a indica situarea lor pe elipsoid (fiind utilizate de preferință în geodezie). Unica deosebire constă în elementele legate de normala geodezică, care diferă de corespondența ei verticala locului prin faptul că nu trece prin centrul elipsoidului. Toate planele care trec printr-o normală geodezică se numesc *plane normale geodezice* și taie elipsoidul după *secțiuni normale geodezice* a căror curburi variază cu direcția. În orice punct există două raze de curbura principale: raza de curbura meridiană M_1 și raza de curbura transversală N corespunzând secțiunii normale perpendiculară pe cea meridiană, mărimile lor fiind

$$M_1 = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \Phi)^{3/2}} \text{ și } N = \frac{a}{(1-e^2 \sin^2 \Phi)^{1/2}} \quad (2.25)$$

raza de curbura R_α a unei secțiuni normale oarecare, depinzînd de azimutul α al acestei secțiuni

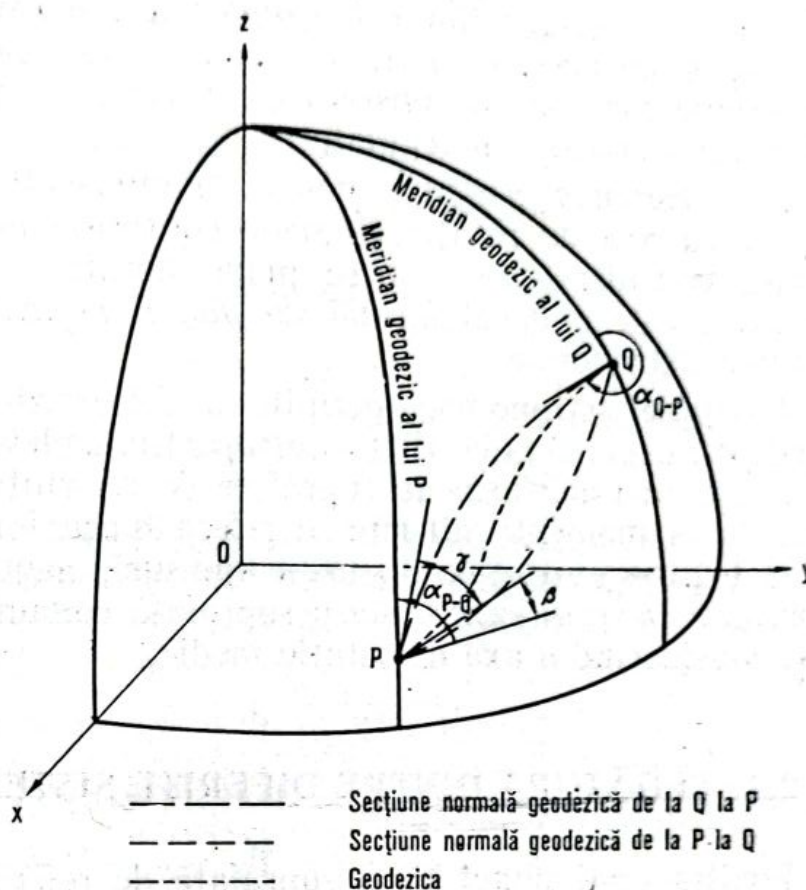
$$\frac{1}{R_\alpha} = \frac{\cos^2 \alpha}{M_1} + \frac{\sin^2 \alpha}{N}. \quad (2.26)$$

Azimutul unei secțiuni normale de la punctul P spre punctul arbitrar Q se definește ca fiind unghiul format de planul normal al punctului P trecînd prin Q , cu planul normal meridian prin P , măsurat în *planul orizontului geodezic* al lui P (planul perpendicular pe normală) în sensul acelor ceasornicului de la nord spre est, de la 0 la 360° (figura 2.4). Dar azimutul geodezic al direcției PQ este diferit de acel al direcției QP ; normalele nefiind concurente secțiunile normale PQ și QP vor fi diferite. De aceea este necesar să se precizeze definiția azimutului geodezic: unghiul format de tangenta la geodezică (drumul pe suprafața cel mai scurt dintre două puncte ale ei) cu tangenta la meridianul geodezic din acel punct.

Coordonatele geocentrice rectangulare ale unui punct P (x, y, z) sînt

$$\begin{aligned} x &= N \cos \Phi \cos L = \rho \cos \Phi' \cos L \\ y &= N \cos \Phi \sin L = \rho \cos \Phi' \sin L \\ z &= N \sin \Phi = \rho \sin \Phi'. \end{aligned} \quad (2.27)$$

Fig. 2.4. Geodezica.



Geoidul s-a definit ca un caz particular al suprafețelor geopotențiale, avînd ecuația

$$W(r, \lambda', \varphi') = \text{constant}. \quad (2.28)$$

Din natura funcției W se vede că ea nu poate fi exprimată printr-o formulă matematică finită, ci este o suprafață fizică, cu următoarele proprietăți:

- pe fiecare din suprafețe $W = \text{constant}$ (prin definiție);
- linia de plumb este perpendiculară pe ea în orice punct (fiind dată de direcția firului cu plumb); este înfășurătoarea direcțiilor forței gravitaționale în orice punct;
- este o suprafață netedă fără rupturi și discontinuități.

Unghiul format de tangenta la linia de plumb în punctul considerat (numită normală astronomică) cu planul ecuatorului instantaneu se numește *latitudine astronomică*. Planul astronomic normal într-un punct, paralel cu axa instantanee de rotație a Pămîntului se numește *plan meridian astronomic* (nu trece neapărat prin axa instantanee de rotație). *Longitudinea astronomică* este unghiul format de planul meridian al locului, cu planul meridian astronomic zero. Locul geometric al puncte-

lor cu aceeași longitudine astronomică se numește *meridian astronomic*, iar a celor cu aceeași latitudine astronomică *paralel astronomic*. Din cele expuse mai sus se constată că meridianul și paralelul astronomic sînt curbe oarecare, neregulate.

Polii astronomici sînt punctele de intersecție ale suprafeței geopotențiale cu axa de rotație. Planele conținînd normala astronomică în punctul considerat se numesc plane normale astronomice. *Azimutul astronomic* este unghiul format de *planul normal astronomic* cu planul meridian astronomic.

Mărimile astronomice definite astfel prezintă cîteva neajunsuri: diferitele puncte de observație nu aparțin aceleiași suprafețe geopotențiale, deci se raportează la suprafețe de referință diferite; observațiile efectuate la momente diferite se referă la ecuator și axe de rotație diferite. Pentru evitarea acestor neajunsuri, cantitățile astronomice se raportează la geoid care este o suprafață comună pentru toți observatorii, considerînd o axă de rotație medie.

2.4. LEGĂTURA DINTRE DIFERITE SISTEME DE COORDONATE

Poziția unui punct pe o suprafață de referință se determină prin coordonate astronomice, geodezice sau sfîrice. Mai utile fiind primele două, în cele ce urmează se vor face referiri la acestea. Coordonatele astronomice sînt: latitudinea astronomică redusă φ , longitudinea astronomică L și înălțimea astronomică H care este înălțimea observatorului deasupra elipsoidului de referință, măsurată de-a lungul normalei geodezice. Ele definesc poziția observatorului în raport cu elipsoidul de referință. Dar elipsoidul de referință poate să fie oarecare (ca poziție și orientare) sau fixat, avînd centrul în centrul de masă al Pămîntului și axa mică să coincidă cu axa medie de rotație a Pămîntului. În primul caz poziția se numește relativă, iar în al doilea, absolută. Coordonatele poziției absolute se numesc coordonate geocentrice — geodezice Φ^e , L^e și h^e .

Coordonatele geodezice se determină prin măsurări de direcții și distanțe pe suprafața terestră, reduse la elipsoid, ținînd cont de condiția lui Laplace

$$A - \alpha = (L - \lambda) \sin \Phi \quad (2.29)$$

unde A și α — sînt azimutul astronomic, respectiv cel geodezic. În acest scop este necesar să se cunoască poziția elipsoidului de referință în raport cu geoidul și axa medie de rotație a Pămîntului, adică dife-

rența dintre coordonatele astronomice și cele geodezice ale unui punct inițial al triangulației (sau trilaterăției)

$$\left. \begin{aligned} \Delta \varphi_0 &= \varphi_0 - \Phi_0 \\ \Delta L_0 &= L_0 - \lambda_0 \\ \Delta H_0 &= h_0 - H_0 \end{aligned} \right| \quad (2.30)$$

În acest fel $\Delta \varphi_0$, ΔL_0 , ΔH_0 — definesc poziția clipsoidului de referință, a și f — mărimea și forma, iar orientarea lui este dată de condiția ca axa sa mică să fie paralelă cu axa medie de rotație a Pământului (prin măsurarea azimutului astronomic în punctul inițial și prin corecția Laplace se ajunge la cel geodezic). Toate acestea se numesc *date geodezice*.

Mărimile $\Delta \varphi_0$ și $\Delta L_0 \cos \Phi_0$ se numesc *componentele devierii verticale* în meridian și în planul primului vertical. Mărimea ΔH_0 se numește *ondulația geoidului*. Pentru componentele devierii verticale se utilizează în general notația

$$\left. \begin{aligned} \xi &= \Delta \varphi = \varphi - \Phi \\ \eta &= \Delta L \cos \Phi = (L - \lambda) \cos \varphi \\ \zeta &= \Delta H = h - H \end{aligned} \right| \quad (2.31)$$

Pentru a trece la date geocentrice — geodezice, coordonatele geodezice Φ_0 , L_0 și H_0 se înlocuiesc cu cele geocentrice — geodezice, Φ_0^c , L_0^c , și H_0^c . Coordonatele relative carteziene ale unui punct se calculează cu formulele

$$\left. \begin{aligned} x &= (N + h) \cos \Phi \cos \lambda \\ y &= (N + h) \cos \Phi \sin \lambda \\ z &= [N (1 - e^2) + h] \sin \Phi \end{aligned} \right| \quad (2.32)$$

2.5. STUDIUL EXPERIMENTAL AL GRAVITAȚIEI TERESTRE

Forța centrală care se exercită între două mase m și m' situate între ele la distanța r este

$$F = G \frac{mm'}{r^2} \quad (2.33)$$

unde m și m' — sînt exprimate în grame, r — în centimetri, F — în dine, iar G este un parametru numit *constanta de gravitație*, care se determină prin măsurarea densității medii a Pământului.

Avînd Δ densitatea medie, M masa totală, R raza terestră și g intensitatea cîmpului gravitațional la suprafață se obține

$$M = \frac{4}{3} \pi R^3 \Delta, \quad g = \frac{GM}{R^2} = \frac{4}{3} \pi G \Delta R \quad (2.34)$$

în care g și R sînt cunoscute; măsurarea lui G ne va da densitatea medie Δ .

Cunoscînd

$$2\pi R = 40\,000 \text{ km} = 4 \cdot 10^9 \text{ cm}$$

$$g = \frac{8}{3} \Delta G \cdot 10^9$$

după valoarea lui g , se obține

$$G \Delta = 36,79 \cdot 10^{-8}. \quad (2.35)$$

Prin măsurătorile gravimetrice efectuate de mai mulți geofizicieni, cu diferite aparate (Cavendish, Baily, Airy ș.a), s-a verificat ipoteza lui Newton care a dat o valoare aproximativă a densității medii a Pămîntului, cuprinsă între 5 și 6. Astfel,

$$\Delta = 5,53, \quad G = 6,65 \cdot 10^{-8}. \quad (2.36)$$

Variația verticalei. Efectul pe care un astru A îl produce în punctul P la suprafața terestră, se datorește nu atracției sale totale, ci diferenței geometrice dintre această atracție și cea exercitată asupra centrului de inerție C al Pămîntului. Pentru astrul A , de masă m , la distanța zenitală z , componentele verticală V și orizontală H ale diferenței geometrice de atracție vor fi

$$\left. \begin{aligned} V &= Gm \left(\frac{\cos z'}{D^2} - \frac{\cos z}{\rho^2} \right) \\ H &= Gm \left(\frac{\sin z'}{D^2} - \frac{\sin z}{\rho^2} \right) \end{aligned} \right| \quad (2.37)$$

iar

$$D \sin z' = \rho \sin z$$

$$\rho \cos z = D \cos z' = R$$

unde R — este raza terestră.

Luînd în considerare valoarea foarte mică a acestei diferențe față de ρ și ρ' se poate scrie

$$\rho - D = R \cos z.$$

Neglijînd termenii care conțin ca factor pe $\frac{R^2}{\rho^2}$ (pentru Lună, care este astrul cel mai apropiat, $\frac{R^2}{\rho^2} = \frac{1}{3\,600}$) și punînd

$$\frac{GM}{R^2} = g$$

unde M — este masa Pămîntului considerat sferic și g — accelerația gravitațională, se obține

$$V = g \frac{m}{M} \left(\frac{R}{D} \right)^3 (1 - 3 \cos^2 z) \quad (2.38)$$

și

$$H = g \frac{3}{2} \frac{m}{M} \left(\frac{R}{D} \right)^3 \sin^2 z. \quad (2.39)$$

V se consideră pozitiv spre centrul Pămîntului, iar H este pozitiv pe partea astrului A . Considerînd α un factor caracteristic al astrului A

$$\alpha = \frac{3}{2} \frac{m}{M} \left(\frac{R}{D} \right)^3 \quad (2.40)$$

formulele devin

$$\frac{V}{g} = \frac{2\alpha}{3} (1 - 3 \cos^2 z) \quad \text{și} \quad \frac{H}{g} = \alpha \sin^2 z. \quad (2.41)$$

Pentru Lună

$$\frac{m}{M} = \frac{1}{82}, \quad \frac{R}{\rho} = \frac{1}{60} \quad \text{și} \quad \alpha = \frac{1}{12\,000\,000}.$$

Componenta orizontală este maximă și minimă pentru $z = \pm 45^\circ$, avînd atunci

$$\frac{H}{g} = \alpha = \frac{1}{12\,000\,000}.$$

Primele măsurători asupra variației gravitației. O sferă cu raza R , suspendată de un fir subțire de lungime l (de la punctul de suspensie pînă la centrul sferei) are perioada

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g} \left(1 + \frac{R^2}{5l^2} \right)} \quad (2.42)$$

unde g — este intensitatea câmpului gravitațional. Produsul gm , unde m este masa corpului, măsoară greutatea; g reprezintă deci o accelerație care se exprimă în cm/s^2 . Formula 2.42 permite să se calculeze g , când se cunosc l , R și T .

Perioada T este măsurată în secunde de timp mediu, secundă siderală (ceasornicele de precizie sînt reglate după timpul sideral).

Termenul $\frac{R^2}{5l^2}$ este foarte mic. Lungimea pendulului care marchează secunda este de aproximativ 100 cm.

Considerînd sfera cu un diametru de 4 cm, corecția este de 1:12 500. Formula completă devine

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mgl}} \quad (2.43)$$

unde I — este momentul de inerție în raport cu axa de rotație, l — distanța de la centrul de inerție la axă și m — masa totală.

Au fost aduse îmbunătățiri atît experiențelor, cît și aparaturii folosite pentru determinarea lui g (Borda, Biot ș.a.); s-au calculat corecțiile care apar datorită micșorării proporționale a greutății, în funcție de densitatea aerului, ca și antrenării aerului de către pendul. Pentru un pendul simplu, se consideră lungimea firului $l = 99,9939$ cm.

Pendulul invariabil este format dintr-un inel metalic cu diametrul de 30 cm, care oscilează pe un cuțit fix. Dacă pendulul este alcătuit dintr-un metal omogen, perioada va fi

$$T = k \sqrt{\frac{1 + \alpha t}{g}} \quad (2.44)$$

Pendulul reversibil reprezintă un corp de o formă oarecare ce se rotește în jurul unei axe de rotație alături de care există întotdeauna o a doua axă de rotație, paralelă cu prima situată într-un plan care trece prin prima axă și centrul de inerție al corpului, astfel ca durata oscilațiilor în jurul celor două axe să fie aceeași

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\Delta}{g}} \quad (2.45)$$

unde g — este accelerația gravitațională. Prin măsurarea lui Δ și a lui T , se poate afla valoarea lui g . Cu ajutorul sateliților artificiali s-a stabilit prima aproximație a câmpului gravitațional, care pentru elipsoidul Kaula, 1964 (a se vedea tabelul 1.2) ar fi o suprafață echipotențială a

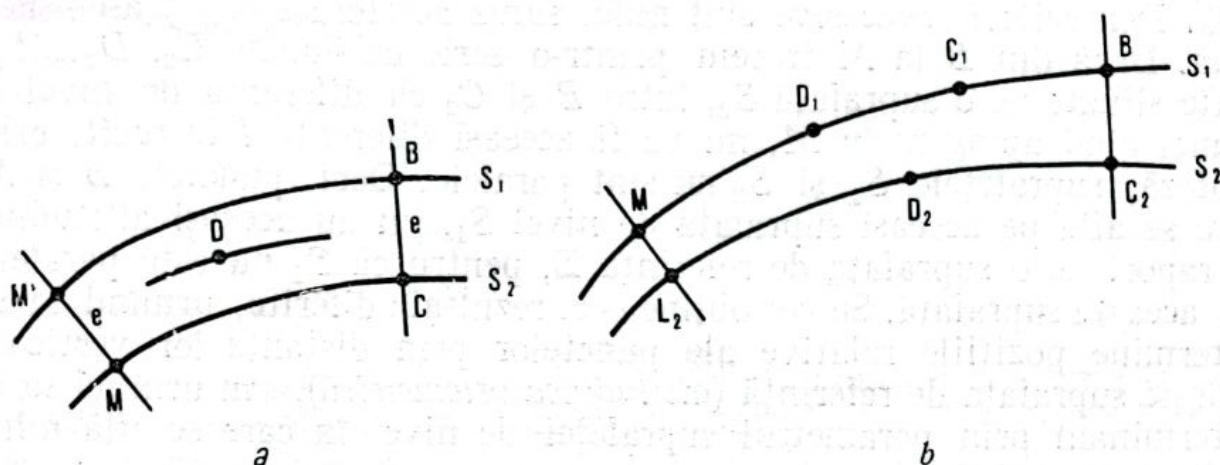


Fig. 2.5. Suprafețe de nivel paralele (a) și neparalele (b).

cărci accelerație a gravitației într-un punct de latitudine φ , redusă la nivelul mării este

$$g = 978,03185 (1 + 0,05278895 \sin^2 \varphi + 0,0000234462 \sin^4 \varphi) \text{ gali}^*.$$

Trasarea experimentală a unei suprafețe de nivel. Pe o suprafață de nivel se pot determina oricâte puncte se cer. Punctele B și C fiind considerate deasupra suprafeței, se poate deplasa nivelul din A în A' , în așa fel ca să avem $A'C = A'D$, unde D este un alt punct al suprafeței de nivel. În operațiile de nivelment se caută nu atât plasarea punctelor B și C la același nivel, ci determinarea distanțelor punctelor B și C față de planul tangent la suprafața de nivel S care trece prin punctă.

Să considerăm punctul B pe suprafața de nivel S_1 , de parametru λ_1 (figura 2.5 a) și punctul C sub această suprafață cu cantitatea e , pe suprafața de nivel S_2 , de parametru $\lambda_2 = \lambda_1 - e$; dacă ne plasăm pe această suprafață pînă într-un punct oarecare M , pentru a reveni în M' al suprafeței S_1 , este suficient să cunoaștem e .

Altitudinea punctelor este deci bine definită în ipoteza suprafețelor de nivel paralele; altitudinea relativă a două puncte B și M nu ar depinde de punctele intermediare folosite $C, D, \dots$. Dacă suprafețele de nivel nu sînt paralele diferența de altitudine între două puncte B și M' nu constituie suma algebrică a diferențelor de nivel succesive; ea depinde de punctele intermediare folosite.

În figura 2.5 b, B și M sînt două puncte ale suprafeței S_1 , trecînd de la B la M prin punctele $C_1, D_1, \dots$, toate pe aceeași supra-

* 1 gali = 1 dină.

față. Denivelările succesive sînt nule, suma acestora este de asemenea nulă. Dacă din B la M trecem printr-o serie de puncte $C_2, D_2, \dots, L_2$, toate situate pe o suprafață S_2 , între B și C_2 cu diferența de nivel l , atunci cînd ajungem în M , nu va fi aceeași diferență l întrucît, prin ipoteză, suprafețele S_1 și S_2 nu sînt paralele. Deci, punctele B și M care se află pe aceeași suprafață de nivel S_1 , nu au aceeași altitudine în raport de o suprafață de referință Σ , pentru că S_1 nu este paralelă cu această suprafață. Se vor obține deci rezultate diferite, urmînd să se determine pozițiile relative ale punctelor prin distanța lor verticală față de suprafața de referință (*altitudinea ortometrică*), sau urmînd să le determinăm prin parametrul suprafeței de nivel în care se află (*altitudinea mecanică*).

3 MĂSURAREA ȘI REPREZENTAREA SUPRAFETEI TERESTRE

Pe măsură ce a fost cunoscută suprafața planetei noastre a fost descrisă și reprezentată prin imagini desenate începînd din antichitate și pînă în zilele noastre.

Rezultatul operațiilor de măsurare, înregistrare și transpunere prin diferite mijloace grafice — simple sau automate — a elementelor fizice și sociale ale Pămîntului, în plan, îl constituie *harta*. În vederea întocmirii hărților, sînt necesare numeroase măsurători pe teren, pentru determinarea unor puncte fundamentale care constituie *baza geodezo-topografică* a unor linii (direcții, distanțe) care pot fi definite ca ecuații a dreptelor ce trec prin două puncte sau pot fi măsurate independent prin unghiul pe care îl fac cu o anumită direcție cardinală.

Cu măsurarea directă a suprafeței terestre pe mari areale spațiale și cu determinarea formei și dimensiunilor Pămîntului se ocupă *geodezia*. Totalitatea punctelor determinate pe suprafața elipsoidului terestru (geoidului), formează *canevasul geodezic* al hărții alcătuit din rețele de puncte situate la mari distanțe între ele: de ordinul I, vîrfuri ale unor triunghiuri cu laturi de 40—60 km, ordinul II cu laturi de 15—25 km, ordinul III cu laturi de 5—10 km, ordinul IV cu laturi de 2—5 km și ordinul V cu laturi de 0,5—2 km, care constituie stații de determinare a unor rețele inferioare de puncte — cele *topografice*.

Topografia se preocupă de *planimetrie*, care studiază metodele și instrumentele necesare determinării punctelor pe o suprafață plană și *altimetrie*, care are ca obiect studiul metodelor și instrumentelor necesare definirii înălțimilor punctelor față de o suprafață de referință. Ansamblul operațiilor geodezice și topografice care se finalizează prin construcția hărții originale, *minuta topografică*, este cunoscut sub numele generic de *ridicare*.

3.1. NOȚIUNI DESPRE ERORILE DE MĂSURARE

Pentru obținerea elementelor necesare construirii hărților, se efectuează în teren măsurători pentru determinarea unor puncte, distanțe, unghiuri și suprafețe.

Operațiile de măsurare în teren sînt afectate de inexactități care pot fi de două categorii: greșeli și erori. În toate cazurile, pentru evitarea greșelilor și erorilor, operațiile din teren, calculele și reprezentările se verifică fie direct, prin repetare, fie indirect, cînd se compară rezultatele primei măsurători cu cele obținute de un alt operator, eventual prin schimbarea procedeului și a instrumentului.

Greșelile apar în urma neglijenței, a lipsei de competență a operatorilor sau a neatenției în lectură și calcul; nu sînt admise în operațiile topografice și cartografice de măsurare, calcul și reprezentare grafică.

Erorile care apar în timpul măsurătorilor sînt inexactități cu valoare mică, inevitabile, cauzate de imperfecțiunea aparatelor, a observațiilor efectuate de operator ca și de unele condiții meteorologice nefavorabile. Practica măsurătorilor din teren ca și teoria erorilor, arată că ori de cîte ori am măsura aceeași dimensiune, în același condiții, cu aceleași instrumente și de același operator, rezultatele nu vor fi identice, ci se va obține față de valoarea reală V o valoare apropiată V' . Considerînd un șir de măsurători $M_1, M_2, M_3 \dots M_n$ asupra aceleiași mărimi M , valoarea

$$M = \frac{M_1 + M_2 + \dots + M_n}{n}$$

adică media aritmetică a valorilor măsurate este cea mai apropiată de valoarea reală sau, după cum se spune, este valoarea cea mai probabilă a mărimii măsurate. Cu cît $M_1, M_2, \dots, M_n$ vor avea valori mai apropiate între ele, cu atît posibilitatea ca acestea să se apropie de valoarea reală este mai mare, sau cu cît abaterea este mai mică, definind abaterea ca diferența dintre două valori succesive,

$$\Delta = M_{i+1} - M_i \quad (i = 1, 2, \dots, n - 1);$$

abaterea maximă Δ_{max} este diferența între valoarea maximă și cea minimă dintre măsurătorile parțiale. Condiția generală ca o măsurătoare să fie valabilă este ca limita superioară a erorii sau a abaterii să nu depășească *toleranța* admisă

$$\Delta_{max} < T.$$

În măsurarea unei distanțe D cu panglica sau ruleta se consideră

$$T(m) = \pm 0,003 \sqrt{D(m)}.$$

Erorile sînt de două categorii: sistematice și accidentale. *Erorile sistematice* se manifestă în urma defectelor de construcție a aparatelor,

a metodei sau a unor influențe permanente ale mediului înconjurător. Eroarea sistematică a unui rezultat E_s este dată de produsul dintre eroarea sistematică a unei măsurători e_s și numărul măsurătorilor n

$$E_s = e_s \cdot n.$$

Cercețiile (C_s) care se vor aplica pentru eliminarea erorilor sistematice vor fi, față de acestea, egale și de semn contrar

$$C_s = -e_s.$$

Erorile accidentale sau întâmplătoare se produc datorită unor cauze insesizabile și imprevizibile. Ele apar în timpul operațiilor topografice la măsurarea distanțelor și a unghiurilor datorită pe de o parte variațiilor de temperatură, lipsei de stabilitate a solurilor, frecării rultei de suprafața terenului ș.a. iar pe de altă parte provocate de luminozitate, temperatura aerului, prezența ceații, culoarea semnalelor etc. Erorile accidentale se formează și se compun după legile probabilității, care referite la măsurătorile din teren, când se execută de un număr mare de ori, se caracterizează prin mai multe proprietăți:

— erorile accidentale sînt egale și de semn contrar; reprezentate grafic prin curba lui Gauss, se remarcă simetria acesteia față de axa Oy (figura 3.1)

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = \int_0^{+\infty} f(x) dx = \frac{1}{2}; \quad (3.1)$$

— erorile accidentale cu valoare mică sînt mai numeroase (indicație dată de valorile ordonatelor);

— erorile accidentale nu depășesc o anumită limită; abscisa este asimptotă la curbă (teoretic), însă în realitate există o eroare limită.

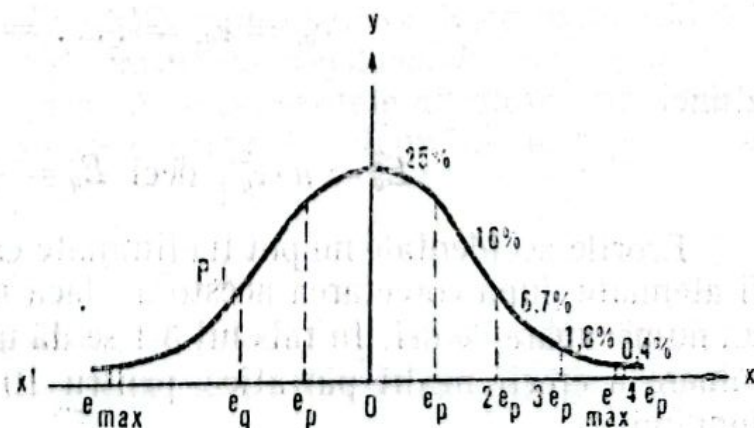


Fig. 3.1. Curba lui Gauss.

În cazul determinării unei mărimi prin executarea în aceleași condiții a mai multor măsurători, erorile accidentale care se produc sînt definite prin mai multe erori caracteristice:

— *eroarea probabilă* (e_p) cu șanse egale de a fi sau nu depășită, adică este acea valoare a erorii pentru care valorile mai mici și mai mari se întîlnesc la fel de frecvent (cu aceeași probabilitate);

— *eroarea aparentă sau reziduală* (e) este diferența dintre o măsurătoare și media măsurătorilor asupra aceleiași mărimi, suma erorilor fiind nulă

$$\frac{[e]}{n} = 0 \quad (3.2)$$

unde $[e]$ — este suma erorilor aparente, folosind notația Gauss și n — numărul măsurătorilor.

— *eroarea medie pătratică* (e_q) a unui rezultat este dată de relația

$$e_q = \pm \sqrt{\frac{[ee]}{n-1}}. \quad (3.3)$$

În geodezie și topografie se întîlnește frecvent situația

$$\begin{array}{l} X = F(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ X = \pm x_1 \pm x_2, \dots, \pm x_n \end{array} \quad (3.4)$$

unde X — este rezultatul final al unei măsurători, $x_1, x_2, \dots, x_n$ — rezultatele parțiale prin operații independente. În acest caz eroarea medie pătratică a rezultatului va fi

$$E_q^2 = e_{q_1}^2 + e_{q_2}^2 + \dots + e_{q_n}^2. \quad (3.5)$$

Cînd, în cazul amintit, erorile medii pătratice au valori egale

$$e_{q_1} = e_{q_2} = \dots = e_{q_n}$$

atunci

$$E_q^2 = n \cdot e_q^2, \text{ deci } E_q = \pm e_q \sqrt{n}. \quad (3.6)$$

Erorile accidentale nu pot fi eliminate ca erorile sistematice, însă pot fi atenuate după corectarea acestora, dacă măsurătorile s-au efectuat de un număr mare de ori. În tabelul 3.1 se dă un exemplu numeric de determinare a erorii medii pătratice pentru 10 măsurători asupra aceleiași lungimi.

Determinarea erorii medii pătratice (exemplu numeric)

Nr. de măsurători	Valori obținute	Erori aparente		[ee]
		—	+	
1	129,30	0,067		0,00449
2	129,39		0,023	0,00053
3	129,46		0,093	0,00865
4	129,37		0,003	0,00001
5	129,28	0,087		0,00757
6	129,41		0,043	0,00185
7	129,33	0,037		0,00137
8	129,36	0,007		0,00005
9	129,34	0,027		0,00073
10	129,43		0,063	0,00397
	129,367	0,225	0,225	0,02922

Folosind relația 3.3

$$e_q = \pm \sqrt{\frac{[ee]}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{0,02922}{9}} = \pm 0,057.$$

3.2. COORDONATE RECTANGULARE ȘI POLARE ÎN PLAN ȘI SPAȚIU

Coordonate plane. Un punct oarecare P situat într-un plan orizontal, față de un sistem de axe rectangulare, este definit prin distanțele acestuia la cele două axe (figura 3.2). Distanța PP'' este abscisa punctului P (ΔX), iar PP' ordonata (ΔY). Cuplul distanțelor punctului față de axele sistemului (ΔX , ΔY) formează *coordoanatele rectangulare* sau *carteziene* (relative) ale punctului P , coordonatele absolute obținându-se prin adăugarea lor la coordonatele originii sistemului de reprezentare

$$\begin{aligned} X &= X_0 + \Delta X \\ Y &= Y_0 + \Delta Y. \end{aligned} \quad (3.7)$$

Poziția punctului necunoscut P poate fi determinată și printr-un alt cuplu de elemente: unghiul α pe care distanța OP îl face cu axa Oy

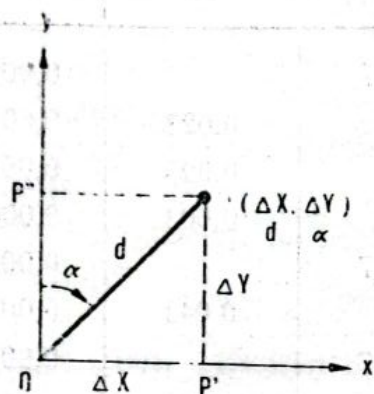


Fig. 3.2. Coordonate plane.

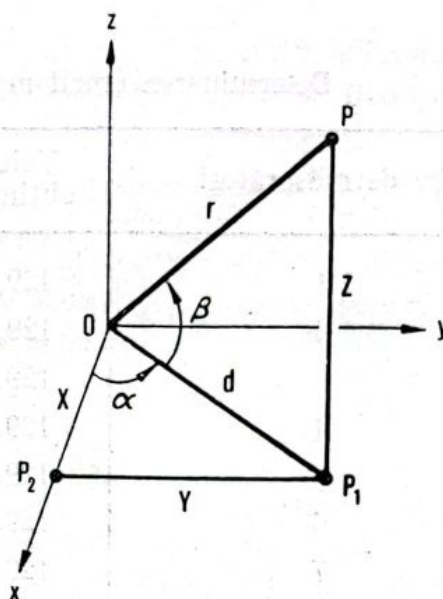


Fig. 3.3. Coordonate în spațiu.

(sau Ox) și însăși distanța d de la originea sistemului la punctul considerat. Împreună, cele două elemente formează *coordonele polare* ale punctului necunoscut, care se scriu $P(\alpha, d)$. Cunoșcând coordonatele rectangulare ale punctului dat se pot afla coordonatele polare și invers. Când se cunosc coordonatele rectangulare relative ΔX și ΔY , se poate scrie

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta X}{\Delta Y} \quad (3.8)$$

precum și

$$d = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (3.9)$$

Când se cunosc coordonatele polare α și d se poate obține

$$\begin{cases} \Delta X = d \sin \alpha \\ \Delta Y = d \cos \alpha \end{cases} \quad (3.10)$$

Coordonate în spațiu. Pentru determinarea poziției unui punct în spațiu se utilizează, de asemenea, coordonatele rectangulare și polare. În figura 3.3 în sistemul triaxial Ox, Oy, Oz , coordonatele rectangulare ale punctului P sînt X, Y și Z (abscisa, ordonata și înălțimea) care se scriu $P(X, Y, Z)$.

Coordonatele polare ale aceluiași punct sînt α — unghiul din planul orizontal xOy dintre abscisă și proiecția distanței OP , β — unghiul vertical dintre proiecția d și distanța r și r — distanța de la originea triedrului la punctul considerat. Se scrie $P(\alpha, \beta, r)$. Ca și în cazul coordonatelor

plane se pot transforma coordonatele rectangulare în spațiu în coordonate polare și invers

$$\left. \begin{aligned} r^2 &= d^2 + Z^2 \\ r^2 &= X^2 + Y^2 + Z^2. \end{aligned} \right| \quad (3.11)$$

Relația de mai sus reprezintă ecuația sferei de rază r dată în coordonate rectangulare raportate la centrul său, unde axele x și y se află în planul ecuatorului, iar axa z coincide cu axa sferei

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{ctg} \alpha &= \frac{X}{Y} \\ \operatorname{tg} \beta &= \frac{Z}{d} = \frac{Z}{\sqrt{X^2 + Y^2}}. \end{aligned} \right| \quad (3.12)$$

Coordonatele polare (α, β, r) se pot transforma în coordonate rectangulare; din figura 3.3 rezultă $d = r \cos \beta$ iar

$$\left. \begin{aligned} X &= d \cos \alpha = r \cos \beta \cos \alpha \\ Y &= d \sin \alpha = r \cos \beta \sin \alpha \\ Z &= r \sin \beta. \end{aligned} \right| \quad (3.13)$$

3.3. OPERAȚII TOPOGRAFICE

Măsurarea distanțelor. Distanțele din teren, măsurate cu mijloace geodezice și topografice, se transpun pe un plan orizontal după reducerea lor la nivelul mării, la orizont și la scara de proporție. Ele se determină în mod direct, când se parcurg și indirect, când nu se parcurg.

Măsurarea directă se efectuează cu ajutorul unor metode și instrumente variate, în funcție de precizia urmărită și de echipamentul de care se dispune (panglică, riglă, ruletă, fir de diferite dimensiuni ș.a.), după ce în prealabil s-a realizat materializarea în teren a aliniamentului pe care se află distanța de măsurat. Instrumentele de măsurare directă a distanțelor în teren trebuie să fie etalonate și verificate înaintea începerii lucrărilor (la nevoie și în timpul executării măsurătorilor), aplicându-se corecțiile necesare (de etalonare, de temperatură, de întindere), fără să se depășească toleranțele admise, în funcție de calitatea instrumentului folosit și de distanța măsurată în teren. Cea mai mare precizie în măsurarea directă a distanțelor se obține cu ajutorul firului de oțel galvanizat (firul Ciurileanu), a firului invar, construit dintr-un aliaj inoxidabil (64% oțel, 36% nichel), a firului invar din cobalt (63,5% Fe,

31,5% Ni și 5% Co) sau a „superinvarului“ (54% Co, 36% Fe și 10% Cr); aceste instrumente se utilizează în măsurarea bazelor geodezice (sau topografice) de triangulație, la drumuirile paralactice și la unele distanțe din orașe care necesită o mare precizie.

Măsurarea indirectă presupune utilizarea unor instrumente optice (stadimetre, tahimetre) sau a unor aparate moderne radioelectronice (radio-telemetre) sau electrooptice (telemetre electrooptice). La *măsurarea stadimetrică*, în principiu, distanța D dintre punctele A și B (figura 3.4), rezultă din relația

$$D = \frac{d}{h} H \quad (3.14)$$

unde raportul constant $\frac{d}{h}$ (constanta stadimetrică) este realizat prin construcția aparatului. Valoarea H (numărul generator) se citește pe o stadie (miră) verticală sau orizontală. Aparatul topografic (teodolitul tahimetru, alidada stadimetrică), în planul reticulului, paralel și simetric față de firul orizontal (sau vertical), are gravate firele stadimetrice sau cuplul stadimetric. La majoritatea aparatelor topografice constanta stadimetrică $K = 100$, în mod curent numărul generator multiplicat cu constanta, reprezintă distanța reală din teren. Pentru a afla valoarea constantei stadimetrice se măsoară direct într-un teren orizontal mai multe distanțe notându-se la fiecare numărul generator H , vom avea succesiv

$$D_1 = KH_1; D_2 = KH_2; \dots; D_n = KH_n$$

de unde

$$K = \frac{\frac{D_1}{H_1} + \frac{D_2}{H_2} + \dots + \frac{D_n}{H_n}}{n} \quad (3.15)$$

Măsurarea distanțelor prin unde se face cu ajutorul *radiotelemetrelor*, aparate moderne de măsurare a distanțelor pe cale electronică bazate pe principiul determinării timpului de propagare a undelor radio ultra-

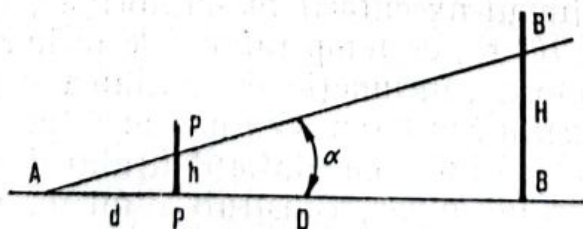


Fig. 3.4. Principiul stadimetriei.

scurte de la stația emițătoare la stația reflectoare și invers (fotografia 3.1).

Dintre aparatele electronice actuale care se utilizează la măsurarea distanțelor se amintesc (cu diferite denumiri locale): radiotelemetre (U.R.S.S.), telluometre (Marea Britanie), electrotape (S.U.A.), telemetre geodezice cu microunde (R.P. Ungară), distomate, distametre etc.

Alte aparate care măsoară distanțele prin unde sînt *telemetrele electrooptice* care obțin distanțele după principiul determinării timpului în care lumina modulată parcurge distanța de la emițător-receptor la stația reflectoare, dus și întors. Și la această categorie de aparate se cunosc mai multe denumiri ca: geodimetre, telemetre luminoase, locatoare optice etc.

Distanțele măsurate în teren, pe cale directă sau indirectă se reduc la orizont, la nivelul mării și la scara planului. *Reducerea la orizont* necesită cunoașterea distanței pe teren și a unghiului de înclinare a liniei de teren sau a diferenței de nivel dintre extremitățile distanței de măsurat. Din figura 3.5 rezultă

$$d = D \cos i \quad \text{sau} \quad d = \sqrt{D^2 - \Delta H^2}. \quad (3.16)$$

Uneori se utilizează corecțiile $C = d - D$, unde, dacă se înlocuiește d cu $D \cos i$ se obține

$$\begin{aligned} C &= D \cos i - D \\ C &= -D (1 - \cos i) = -2D \sin^2 \frac{i}{2}. \end{aligned} \quad (3.17)$$

Pentru măsurătorile efectuate cu stadimetrele, în cazul vizărilor înclinate față de planul orizontal al locului, în situația stadii verticale din figura 3.6, rezultă

$$\begin{aligned} M'O &= MO \cos i \\ ON' &= ON \cos i \\ M'O + ON' &= \cos i (MO + ON) \end{aligned}$$

de unde $M'N' = MN \cos i$, dar $d = D \cos i$ și $MN = H$; rezultă deci formula pentru reducerea la orizont a distanțelor stadimetrice

$$d_s = KH \cos^2 i. \quad (3.18)$$

Reducerea la nivelul mării. Distanțele măsurate în geodezie (lungimi de cîțiva zeci de km), întrucît suprafața de referință este suprafața

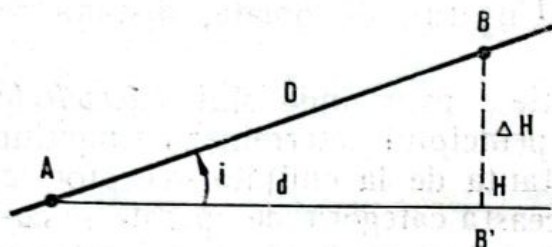


Fig. 3.5. Reducerea la orizont a distanțelor măsurate direct.

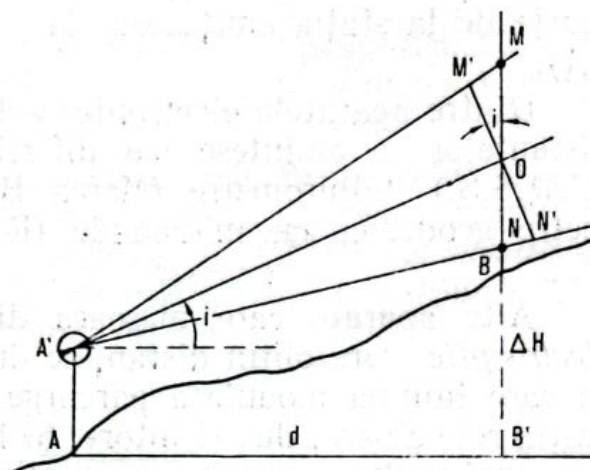


Fig. 3.6. Reducerea la orizont a distanțelor măsurate stadimetric.

geoidului (nivel zero), se reduce și la nivelul mării. Din figura 3.7 se obține

$$\frac{d'}{d} = \frac{R}{R+h} = 1 - \frac{h}{R+h}$$

deci

$$d' = d \left(1 - \frac{h}{R+h} \right) \quad (3.19)$$

formulă care necesită un calcul îndelungat. În lucrările curente, se folosește corecția de reducere la nivelul mării $C = d' - d$ și

$$C = - \frac{dh}{R+h} \quad (3.20)$$

Măsurătorile de distanțe prin unde cu ajutorul radiotelemetrelor și a telemetrelor electrooptice se caracterizează prin reducția fizică ce se aplică rezultatelor măsurătorilor datorită condițiilor atmosferice și im-

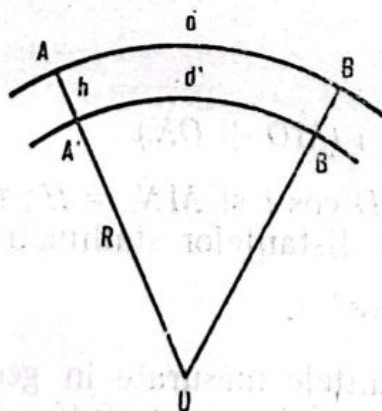


Fig. 3.7. Reducerea la nivelul mării.

perfecțiunii aparatelor electronice, precum și prin reducția matematică, definită prin calculele necesare în vederea transformării distanțelor (obținute radiotelemetric și electrooptic) după reducția fizică, în distanțe geodezice.

Măsurarea unghiurilor. În geodezie și topografie se măsoară unghiuri orizontale și verticale, pentru definirea direcțiilor din teren, pentru determinarea pozițiilor unor puncte de bază sau de detaliu, pentru calcularea cotelor absolute sau relative ale unor puncte care permit materializarea grafică a formelor de relief, sau pentru a stabili poziția unor aștri sau sateliți.

Prin *unghiuri orizontale* se definesc azimutele unor direcții măsurate față de nordul magnetic, geografic și convențional, față de o direcție de referință cunoscută prin orientarea ei sau o direcție arbitrară de la care se obțin în plan orizontal unghiuri simple (citiri pe cercul orizontal al aparatului). Aparatele folosite la măsurarea unghiurilor orizontale sînt goniografele și goniometrele. *Goniografele*, alcătuite dintr-o planșetă cu trepied și un instrument de vizare (alidada cu pinule sau alidada cu lunetă), permit înregistrarea grafică a direcțiilor din teren pe baza vizării punctelor care definesc direcțiile date și trasarea pe planșetă a direcțiilor în lungul instrumentului de măsurat (fotografia 3.2). *Goniometrele* sînt instrumente dotate cu cercuri orizontale (din sticlă sau metal) care permit măsurarea unghiurilor în teren.

Un goniometru simplu este busola, cu care se poate măsura unghiuri orizontale (azimute magnetice).

În practica topografo-geodezică se utilizează *tahimetre* sau *teodolite*, (fotografia 3.3 și 3.4), cu posibilități de măsurare a unghiurilor în grade sexagesimale (360°) sau centesimale (400^g) și de citire pînă la 1—0,5 secundă. Unele tipuri de teodolite sînt dotate cu mijloace de înregistrare fotografică a citirilor. Unghiurile se măsoară fie izolat (fiecare unghi al triunghiurilor), fie în cadrul unui tur de orizont, ncorientat sau orientat.

Unghiurile verticale se măsoară cu ajutorul cercului vertical (eclimetru) al teodolitului, cu un sextant sau cu un eclimetru simplu. În operațiile topografice, se utilizează cercurile verticale complete, cu origini de măsurare care pleacă fie de la planul orizontal al locului, cînd se înregistrează *unghiuri de înclinare*, fie de la verticala locului cînd se obțin *distanțe zenitale*.

3.4. MĂSURĂTORI PLANIMETRICE

Un punct necunoscut se definește planimetric prin coordonatele sale rectangulare sau polare, determinate față de unul sau mai multe puncte cunoscute (în acest scop se utilizează metode simple sau înlănțuite).

Ținând cont de etapele de desfășurare a ridicărilor topografice și de elementele măsurate în cadrul operațiilor din teren, se deosebesc trei categorii de metode (tabelul 3.2).

Tabelul 3.2

Metode de măsurare planimetrică

Elemente măsurate	Metode	
	Simple	Înlănțuite
Numai unghiuri	Intersecția directă Intersecția semidirectă Intersecția inversă	Triangulația
Unghiuri și distanțe	Radierea directă Radierea inversă	Drumuirea (poligonația)
Numai distanțe	Intersecția liniară Aliniamentul Echerică	Trilaterația

Planimetria prin măsurători de unghiuri. Se determină inițial rețeaua punctelor de triangulație sau trilaterație care se completează — în terenurile acoperite de păduri, zone construite, zone acoperite de stuf etc. — cu puncte de poligonație sau de intersecție pentru a putea încadra cât mai rațional întreaga suprafață de ridicat, puncte din care urmează apoi să se fixeze detaliile terenului prin drumuri scurte, intersecții, radieri și alte procedee.

Pentru a obține rețeaua de puncte geodezice și topografice necesare întocmirii unei hărți, se pleacă de la o *bază de triangulație* măsurată cu mare precizie cu un radiotelemetru, telemetru electrooptic sau cu un fir invar, apoi se creează triunghiurile de diferite dimensiuni în care se măsoară unghiurile cu un teodolit de precizie ridicată. Rețeaua de puncte poate fi eșalonată simplu (liniar) sau complex, triunghiurile fiind dispuse unele în altele, cele de ordin inferior sprijinindu-se pe cele de ordin superior (figura 3.8). După măsurarea bazei de triangulație, aceasta se orientează prin vizări pe un astru, creîndu-se apoi rețeaua de sprijin geodezo-topografică a hărții. Rețeaua de triunghiuri se compensează riguros prin folosirea *metodei celor mai mici pătrate* sau prin calcul empiric cu metoda Lehagre-Brönimann care se aplică în special la triangulațiile locale.

Compensarea triangulației dispuse în poligon cu punct central. Dacă triunghiurile au un vîrf comun O , cu unghiurile la centru γ și celelalte unghiuri în fiecare triunghi α și β acestea se corectează în mai multe etape (figura 3.9):

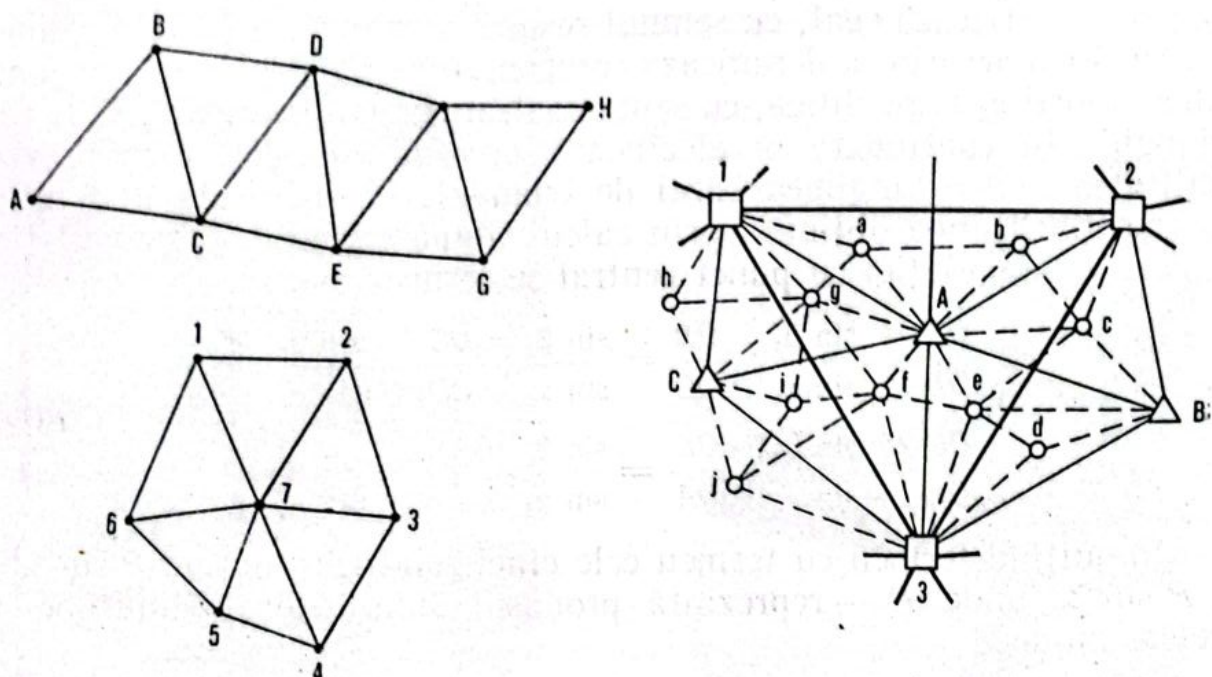


Fig. 3.8. Triangulația. Tipuri de rețele.

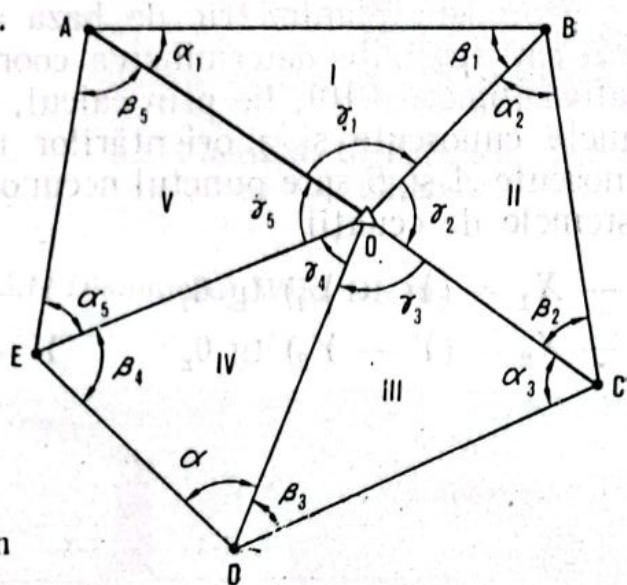


Fig. 3.9. Compensarea într-un poligon cu punct central.

— Asigurarea condiției ca suma unghiurilor în fiecare triunghi să fie 200^g (180°). Pentru triunghiul I

$$\alpha_1 + \beta_1 + \gamma_1 = 200^g$$

și în cazul că suma diferă de 200^g , eroarea rezultată

$$\epsilon_1 = 200^g - (\alpha_1 + \beta_1 + \gamma_1) \quad (3.21)$$

se împarte egal celor trei unghiuri.

— Asigurarea condiției ca suma unghiurilor la centru γ să fie egală cu 400^g , condiție realizată înainte de etapa întâi prin compensarea turului de orizont în punctul central, dar, prin modificări aduse valorilor unghiulare după compensarea întâi, apare o nouă eroare

$$\epsilon_2 = 400^g - (\gamma_1 + \gamma_2 + \dots + \gamma_n) \quad (3.22)$$

care se repartizează egal, cu semnul respectiv, numărului unghiurilor la centru. Prin aceasta se deranjează compensarea întâi, de aceea, cu jumătatea valorii ε_2 se modifică, cu semn contrar, unghiurile α și β în fiecare triunghi. În continuare se efectuează *acordul laturilor*, care prevede egalitatea dintre lungimea bazei de triangulație, măsurată în teren și aceeași dimensiune obținută prin calcul, după executarea triangulației. În cazul triangulației cu punct central se scriu rapoartele

$$\left. \begin{aligned} \frac{OA}{OB} &= \frac{\sin \beta_1}{\sin \alpha_1}; \quad \frac{OB}{OC} = \frac{\sin \beta_2}{\sin \alpha_2}; \quad \frac{OC}{OD} = \frac{\sin \beta_3}{\sin \alpha_3}; \\ \frac{OD}{OE} &= \frac{\sin \beta_4}{\sin \alpha_4}; \quad \frac{OE}{OA} = \frac{\sin \beta_5}{\sin \alpha_5} \end{aligned} \right\} \quad (3.23)$$

Înmulțind termen cu termen cele cinci relații, se obține $P \sin \alpha = P \sin \beta$, unde P — reprezintă produsul sinusurilor unghiurilor de același nume.

Procedeul planimetric de bază al triangulației este *intersecția directă* care permite determinarea coordonatelor rectangulare fie pe cale grafică (figura 3.10), fie prin calcul, pornind de la coordonatele a două puncte cunoscute și a orientărilor topografice măsurate din punctele cunoscute A și B spre punctul necunoscut P . Din figura 3.10 se pot scrie sistemele de ecuații

$$\left. \begin{aligned} X - X_1 &= (Y - Y_1) \operatorname{tg} \theta_1 & Y - Y_1 &= (X - X_1) \operatorname{cotg} \theta_1 \\ X - X_2 &= (Y - Y_2) \operatorname{tg} \theta_2 & Y - Y_2 &= (X - X_2) \operatorname{cotg} \theta_2 \end{aligned} \right\} \quad (3.24)$$

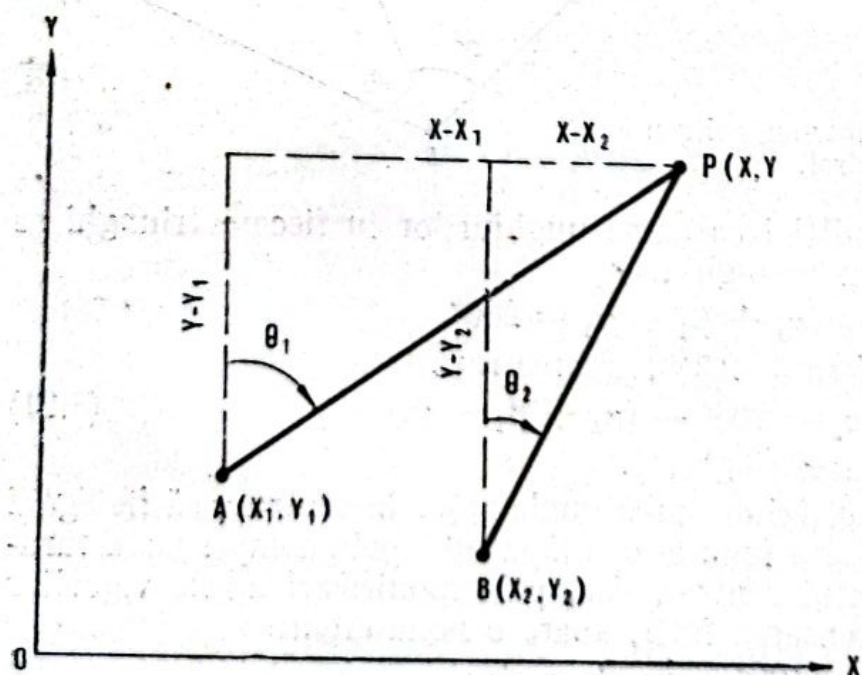
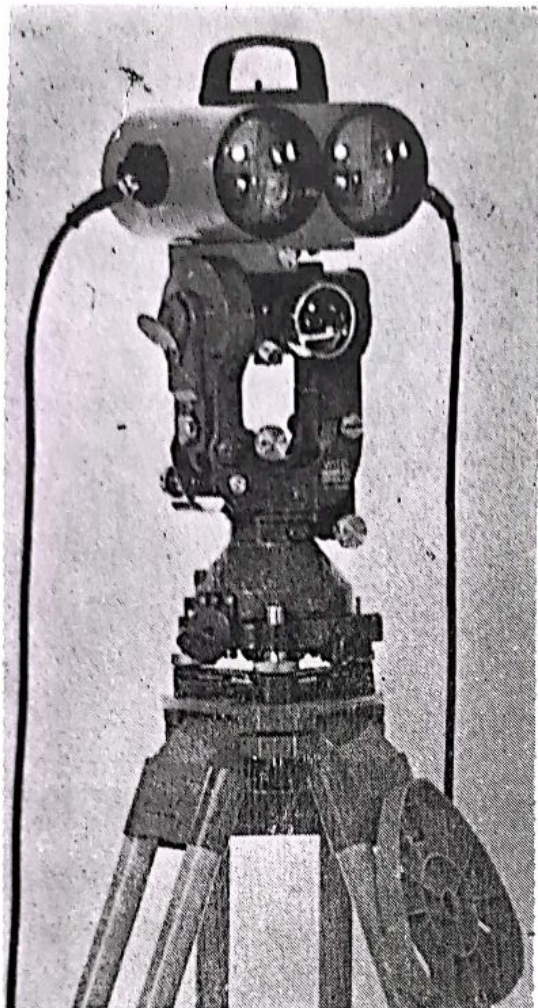
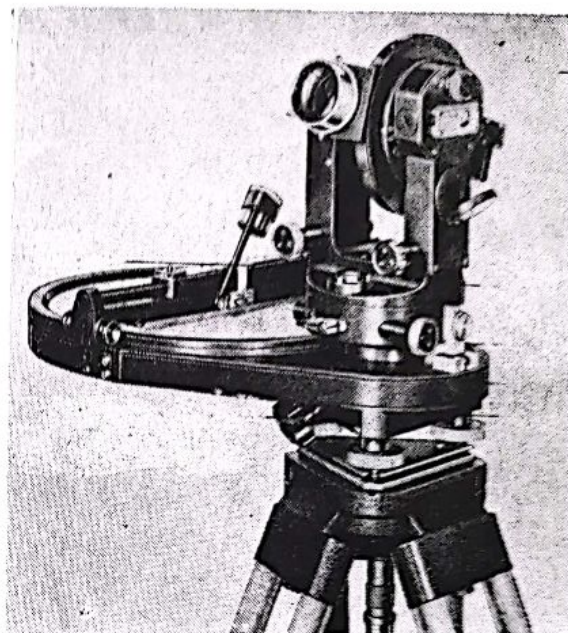


Fig. 3.10. Intersecția directă.

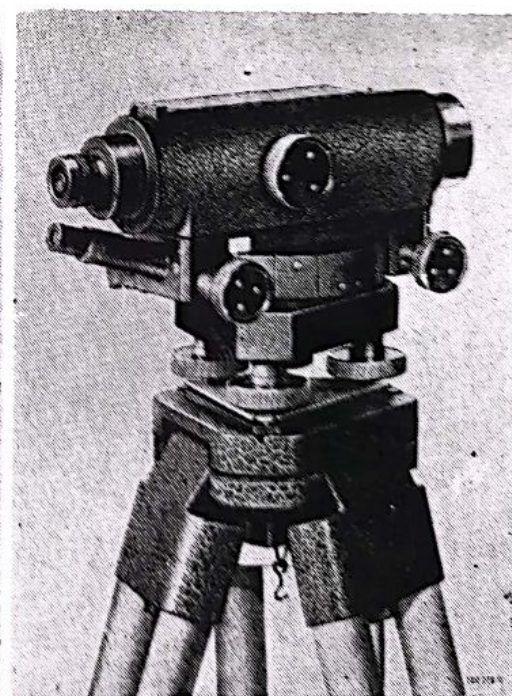
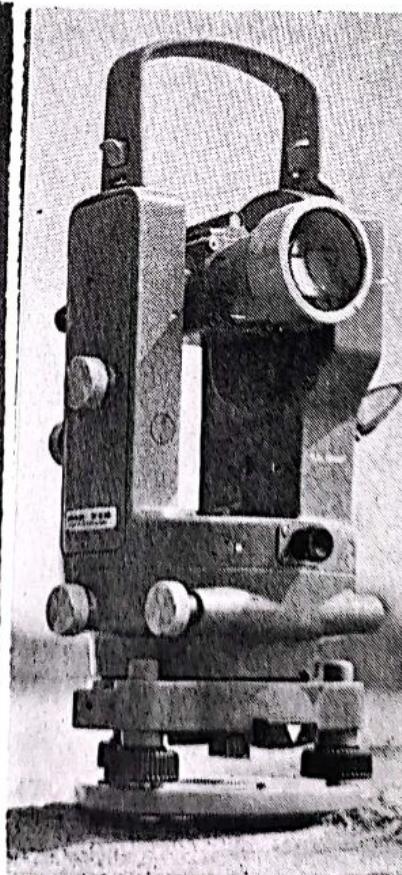
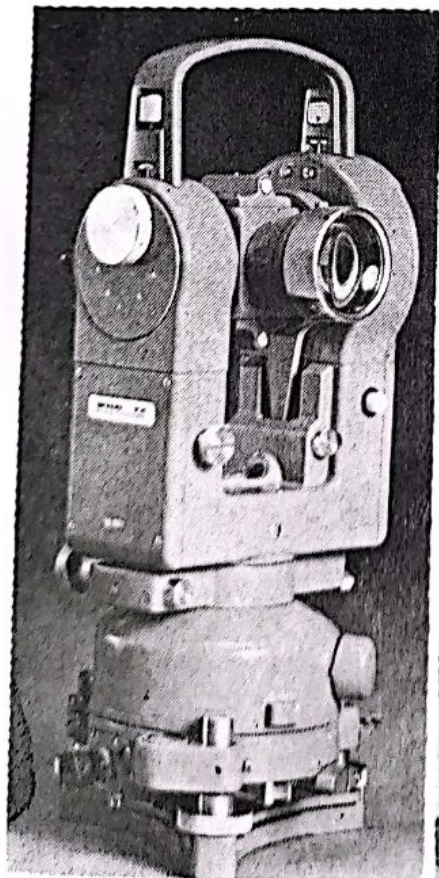


3.1. Distomatul Wild DI 10.



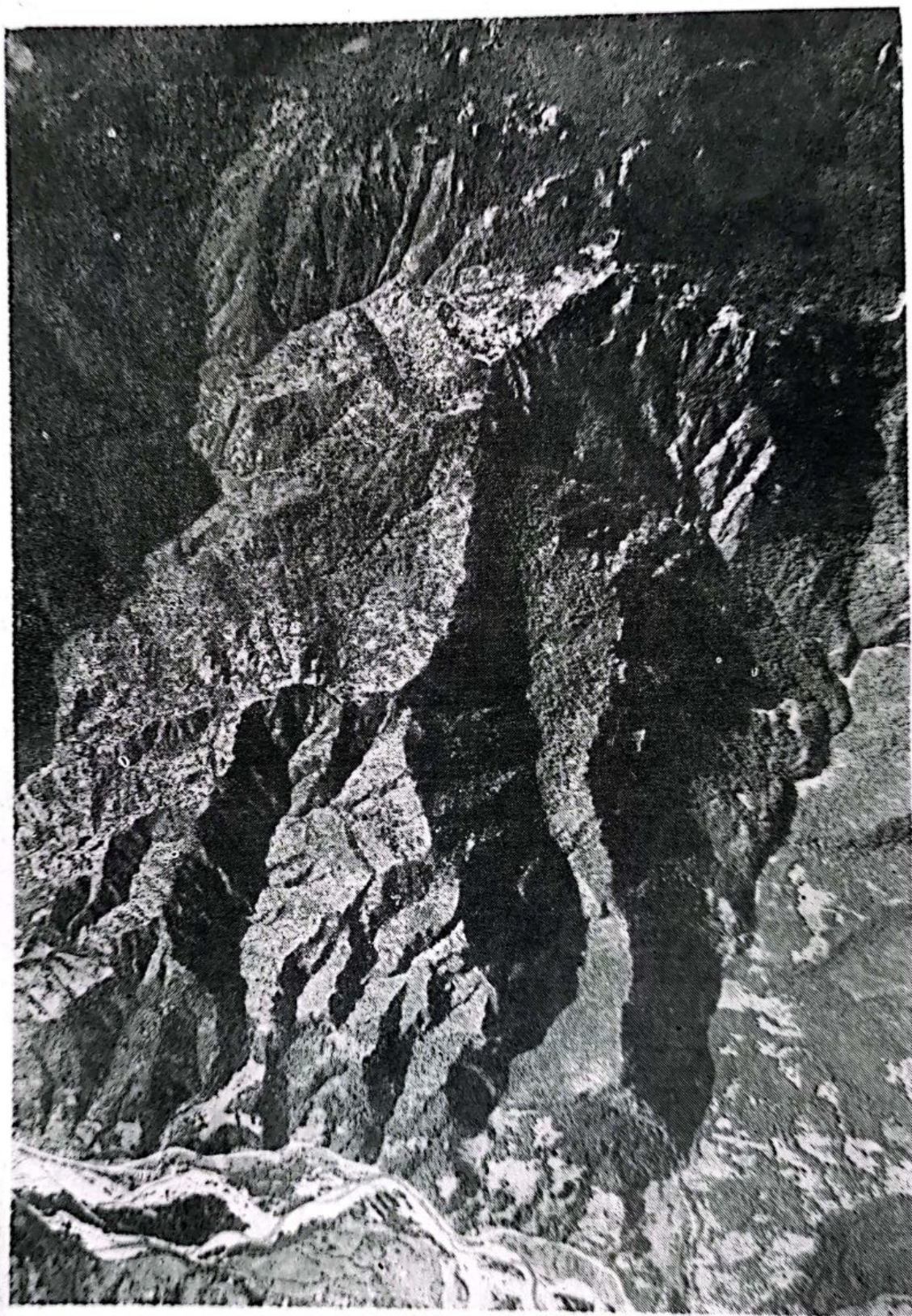
3.2. Planșetă topografică cuplată cu un tahimetru.

3.3. Teodolitul Wild T 2.



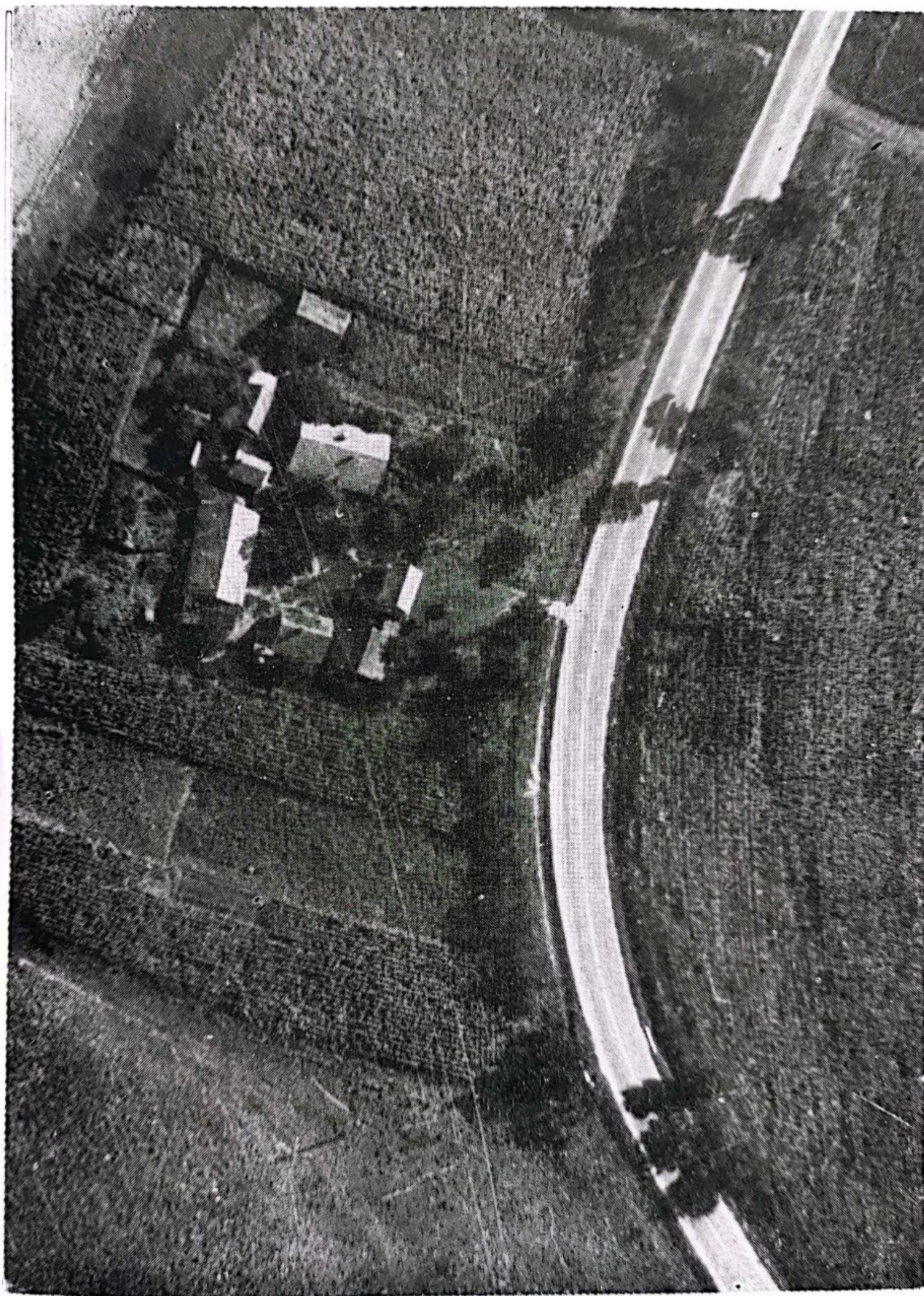
3.5. Nivelă Zeiss Jena Ni 030.

3.4. Teodolitul Wild T 16.



4.1. Fotografie aeriană convențională la scară mică.

4.2. Fotografie aeriană la scară foarte mare.

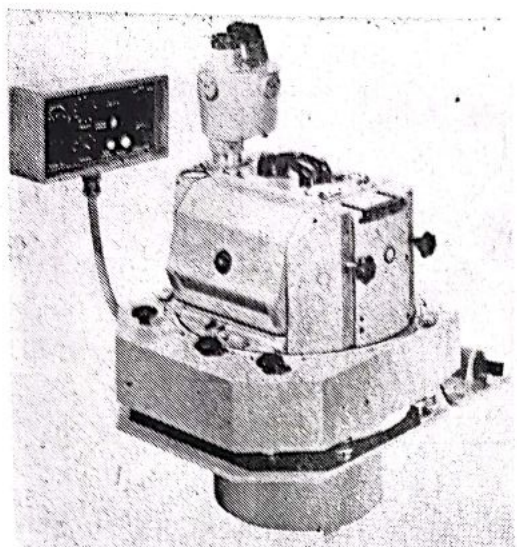




4,3. Fotografie aeriană obținută în infraroșul apropiat.



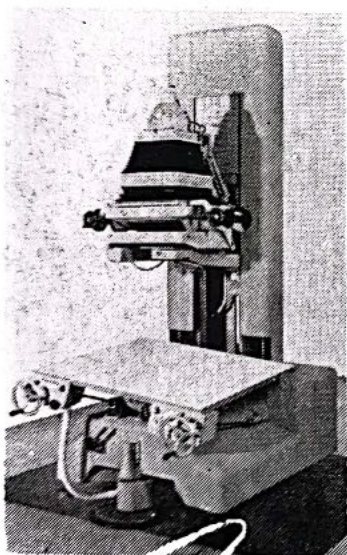
4.4. Fotomozaic aerian (fragment).



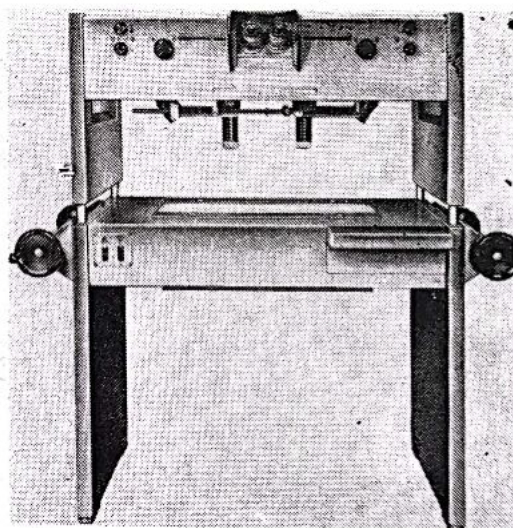
4.5. Camera aerofotogram-
metrică Wild RC 10.



4.6. Cameră fotografică multi-
spectrală.

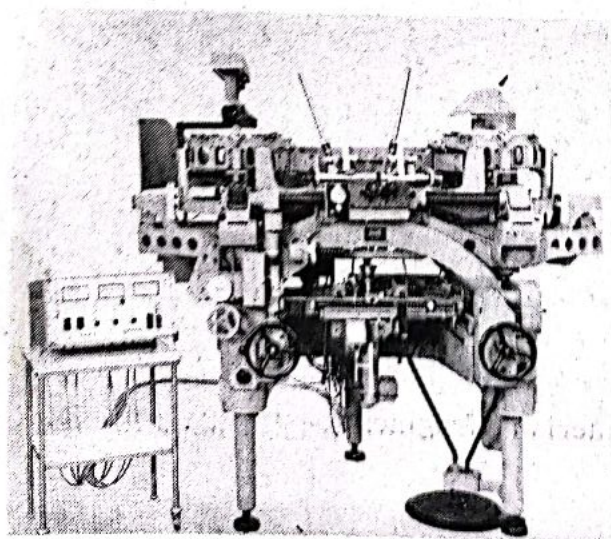


4.9. Aparatul de stereorestituție auto-
graf Wild A 8.

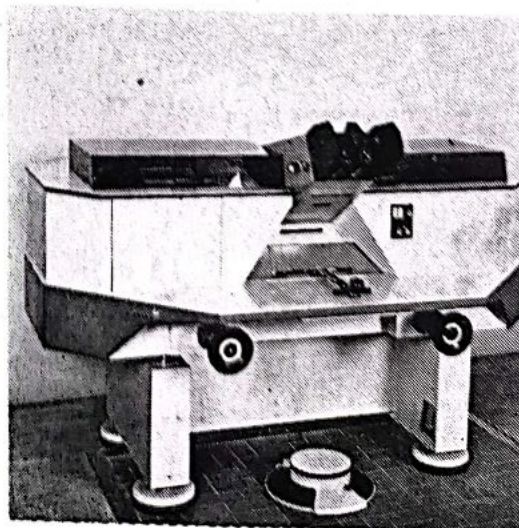


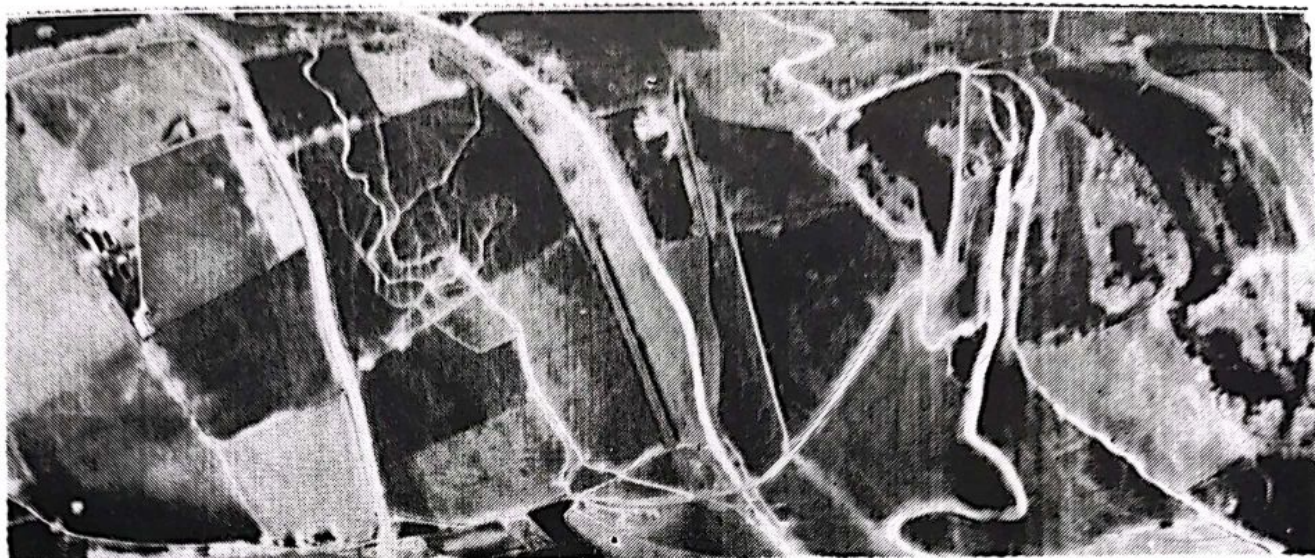
4.7. Fotore-
dresatorul
Wild E 4.

4.8. Inter-
pretoscopul
Zeiss
Jena.



4.10 Aparatul de stereorestituție
analitică AP/C-4.





4.11. Imagine aeriană obținută cu un sensor de baleiere în infraroșul termic.

4.12. Imagine aeriană realizată cu un sensor radar.





4.13. Clasificare tematică automată a unei înregistrări aeriene multispectrale (copie alb-negru).

care, rezolvate cu ajutorul mașinii de calculat, permit aflarea coordonatelor rectangulare ale punctului P (X, Y)

$$\left. \begin{aligned} X &= \frac{Y_2 - Y_1 + X_1 \cotg \theta_1 - X_2 \cotg \theta_2}{\cotg \theta_1 - \cotg \theta_2} \\ Y &= \frac{X_2 - X_1 + Y_1 \tg \theta_1 - Y_2 \tg \theta_2}{\tg \theta_1 - \tg \theta_2} \end{aligned} \right| \quad (3.25)$$

În situația când se cere poziția unui punct necunoscut în care este instalat un aparat topografic, se aplică *intersecția inversă*, cu ajutorul a trei puncte cunoscute care se văd din stație. Coordonatele rectangulare ale punctului necunoscut se obțin grafic (la planșetă), la intersecția inversă a direcțiilor trasate prin punctele cunoscute raportate pe minută și vizările corespunzătoare asupra punctelor din teren. Se utilizează mai multe metode geometrice pentru definirea punctului necunoscut Delambre, Collins, Hansen, Martinian etc., care rezolvă intersecția fie grafic, fie prin calcul. Cunoșcând unghiurile măsurate în cadrul unui tur de orizont în punctul necunoscut P în urma vizărilor către trei puncte cunoscute A, B, C , semnalizate în teren, punctul P se va afla la intersecția segmentelor capabile de unghiurile α construit pe BC , β pe AC și γ pe AB .

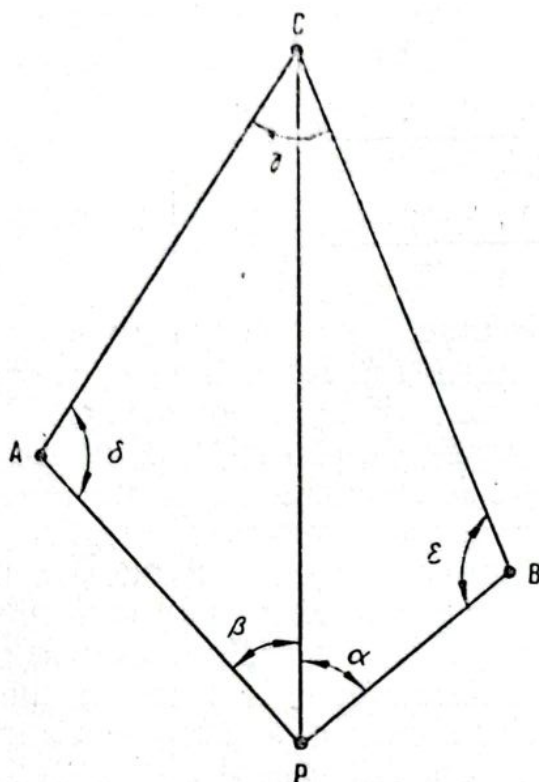
Prin calcul, coordonatele punctului necunoscut se obțin astfel (figura 3.11)

$$\begin{aligned} \alpha + \beta + \gamma + \delta + \epsilon &= 400^g \\ \frac{\delta + \epsilon}{2} &= 200^g - \frac{\alpha + \beta + \gamma}{2} \\ \frac{\sin \delta}{CP} &= \frac{\sin \beta}{AC}; \quad \frac{\sin \epsilon}{CP} = \frac{\sin \alpha}{BC} \\ \frac{\sin \delta}{\sin \epsilon} &= \frac{BC \sin \beta}{AC \sin \alpha}; \quad \frac{\sin \delta}{BC \sin \beta} = \frac{\sin \epsilon}{AC \sin \alpha} \\ \frac{\sin \delta - \sin \epsilon}{BC \sin \beta - AC \sin \alpha} &= \frac{\sin \delta + \sin \epsilon}{BC \sin \beta + AC \sin \alpha} \\ \frac{\sin \delta - \sin \epsilon}{\sin \delta + \sin \epsilon} &= \frac{BC \sin \beta - AC \sin \alpha}{BC \sin \beta + AC \sin \alpha} \end{aligned} \quad (3.26)$$

Făcînd calculabil prin logaritmi termenul întîi al egalității iar termenul al doilea, cunoscut, egal cu M , se obține

$$\frac{2 \sin \frac{\delta - \epsilon}{2} \cos \frac{\delta + \epsilon}{2}}{2 \sin \frac{\delta + \epsilon}{2} \cos \frac{\delta - \epsilon}{2}} = M. \quad (3.27)$$

Fig. 3.11. Intersecția inversă.



Simplificînd, vom avea

$$\operatorname{tg} \frac{\delta - \epsilon}{2} = M \operatorname{tg} \frac{\delta + \epsilon}{2}. \quad (3.28)$$

Din relațiile 3.26 și 3.28 se pot determina δ și ϵ cu ajutorul cărora se transformă citirile unghiulare în orientări directe.

Atît la intersecția directă, cît și la cea inversă este necesar un punct suplimentar pentru verificare.

În cazul că unul dintre punctele cunoscute este vizibil, însă inaccesibil instalării aparatului, poziția punctului necunoscut se determină prin *intersecție semidirectă* care este un caz particular de intersecție; se utilizează o vizare (orientare) directă dintr-un punct cunoscut spre punctul necunoscut și o vizare inversă din punctul necunoscut spre punctul cunoscut inaccesibil.

Planimetria prin măsurători de unghiuri și distanțe. Procedeele planimetrice prin care se obțin coordonatele punctelor necunoscute prin măsurători de unghiuri și distanțe sînt *drumuirea* și *radierea*.

Drumuirea permite realizarea unei rețele de puncte care completează baza geodezică în terenurile acoperite de obstacole naturale și artificiale. Urmărind o linie poligonală întinsă (figura 3.12) sau închisă cu stații topografice în fiecare punct de schimbare de direcție, se determină în

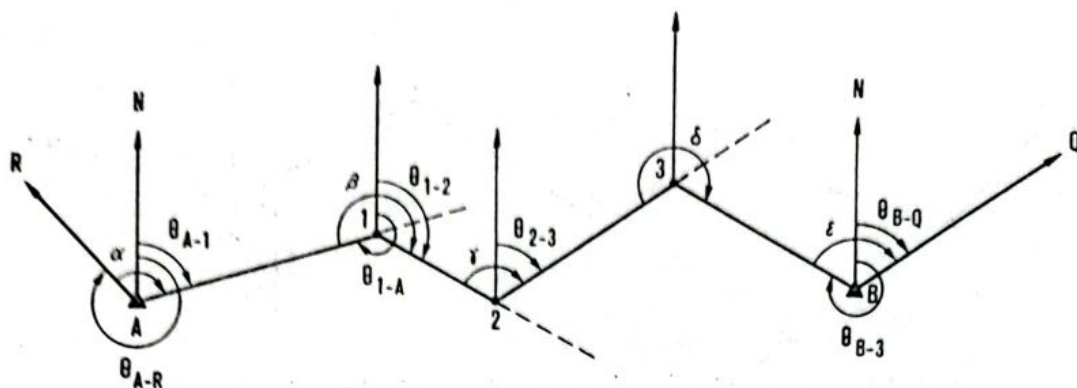


Fig. 3.12. Drumuirea întinsă.

fiecare punct unghiurile orizontale dintre laturile drumuirii prin vizare înapoi și înainte și distanțele dintre puncte. La planșetă se obține direct reprezentarea grafică, la scară, a conturului poligonal, de asemenea coordonatele rectangulare ale punctelor intermediare și ale punctului final. Când se utilizează un teodolit—tahimetru, unghiurile orizontale (orientările topografice) și distanțele servesc la obținerea grafică a minutei topografice (ca la planșetă) sau, plecând de la coordonatele polare măsurate în teren, acestea se transformă, prin calcul, în coordonate rectangulare.

Având $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_P$ orientările laturilor drumuirii și $d_1, d_2, d_3, \dots, d_P$ distanțele reduse la orizont, coordonatele punctului 1 (X_1, Y_1), plecând de la coordonatele punctului A, stație inițială, vor fi

$$\begin{aligned} X_1 &= X_A + \Delta X_1; & \Delta X_1 &= d_1 \sin \theta_1 \\ Y_1 &= Y_A + \Delta Y_1; & \Delta Y_1 &= d_1 \cos \theta_1 \\ \left. \begin{aligned} X_1 &= X_A + d_1 \sin \theta_1 \\ Y_1 &= Y_A + d_1 \cos \theta_1 \end{aligned} \right\} & (3.29) \end{aligned}$$

Pentru ultimul punct al drumuirii, coordonatele rectangulare vor fi

$$\begin{aligned} X_P &= X_A + \Delta X_1 + \Delta X_2 + \dots + \Delta X_P \\ Y_P &= Y_A + \Delta Y_1 + \Delta Y_2 + \dots + \Delta Y_P \\ X_P &= X_A + d_1 \sin \theta_1 + d_2 \sin \theta_2 + \dots + d_P \sin \theta_P \\ Y_P &= Y_A + d_1 \cos \theta_1 + d_2 \cos \theta_2 + \dots + d_P \cos \theta_P \\ \left. \begin{aligned} X_P &= X_A + \Sigma d \sin \theta \\ Y_P &= Y_A + \Sigma d \cos \theta \end{aligned} \right\} & (3.30) \end{aligned}$$

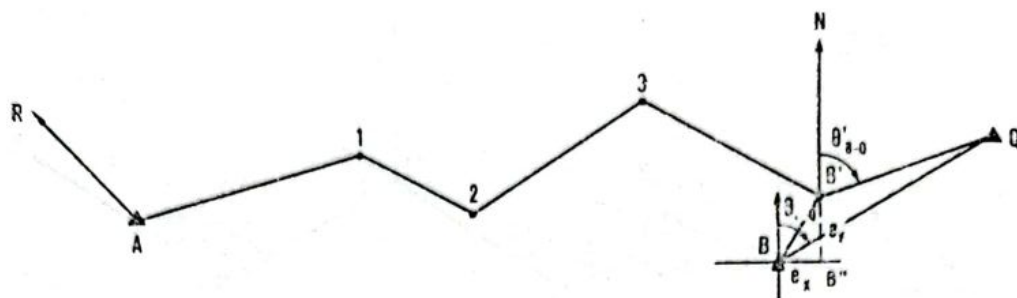


Fig. 3.13. Evidențierea erorilor de închidere la drumuire.

Drumuirea se verifică prin *închiderea* procedeului într-un punct B , de coordonate cunoscute, din care se poate viza o direcție cunoscută $\theta_B - \varphi$ (figura 3.13).

Erorile cumulate pe parcurs, puse în evidență prin închidere, se repartizează egal sau proporțional fiecărei laturi a drumuirii, după cum aceasta are laturi aproximativ egale sau inegale. În primul caz eroarea se împarte la numărul laturilor n și se repartizează astfel, pe laturi: $\frac{\varepsilon_1}{n}$; $2 \frac{\varepsilon_1}{n}$; $3 \frac{\varepsilon_1}{n}$; ...; $n \frac{\varepsilon_1}{n}$; la ultima latură valoarea absolută a corecției va fi egală cu eroarea.

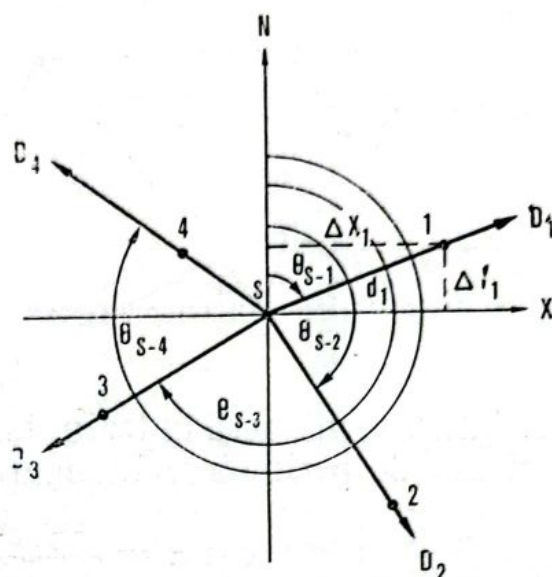
Cînd laturile liniei poligonale nu sînt egale, se aplică două corecții: una în sens longitudinal $C_1 = \frac{\epsilon_x}{D} d$ și alta în sens transversal $C_2 = \frac{\epsilon_y}{D} d$, unde ϵ_x și ϵ_y sînt componentele erorii de poziție $\epsilon_p = \pm \sqrt{\epsilon_x^2 + \epsilon_y^2}$, d — este lungimea laturii la care se aplică compensarea și D — lungimea întregii drumuri. În ceea ce privește croarea unghiulară de închidere ϵ_u , aceasta rezultă din diferența dintre orientarea cunoscută inițial și aceea obținută prin calculul succesiv al orientărilor drumuirii

$$\epsilon_u = \theta_{B-Q} - \theta'_{B-Q} \quad (3.31)$$

care se repartizează fiecărei laturi: $\frac{\varepsilon_u}{n}$; $2 \frac{\varepsilon_u}{n}$; ; $n \frac{\varepsilon_u}{n}$.

Drumuirea se foloseşte la obţinerea punctelor canevasului de detaliu, al hărţii, ca procedeu principal, la completarea canevasului de ansamblu şi la determinarea detaliilor terenului ca procedeu secundar.

Fig. 3.14. Radierea directă.



Radierea directă sau procedeul polar se utilizează ca metodă de bază pentru determinarea detaliilor terenului. Cu aparatul (planșeta sau goniometrul) instalat într-un punct cunoscut, în cadrul unui tur de orizont orientat sau neorientat, se înregistrează unghiurile orizontale și distanțele; după compensarea unghiulară și reducerea distanțelor la orizont, acestea se reprezintă grafic (la planșetă rezultatele se obțin direct) sau se calculează. În figura 3.14, pentru un punct radiat necunoscut 1

$$X_1 = X_s + \Delta X_1; \quad \Delta X_1 = d_1 \sin \theta_{s-1}$$

$$Y_1 = Y_s + \Delta Y_1; \quad \Delta Y_1 = d_1 \cos \theta_{s-1}$$

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= X_s + d_1 \sin \theta_{s-1} \\ Y_1 &= Y_s + d_1 \cos \theta_{s-1} \end{aligned} \right| \quad (3.32)$$

Radierea inversă se utilizează în situația în care din punctul cunoscut nu există suficientă vizibilitate spre detaliile care urmează să fie măsurate. În consecință, se alege un punct necunoscut în sectorul dat care îndeplinește condițiile cerute, se vizează punctul cunoscut și se măsoară distanța, după care se efectuează radierile directe.

Planimetria prin măsurători de distanțe. Poziția planimetrică a unor puncte necunoscute din teren se poate determina și prin măsurarea numai a distanțelor: prin trilateratie, intersecție liniară, metoda aliniamentelor și metoda echerică.

Trilaterația a început să se aplice odată cu introducerea aparatelor moderne electronice și electrooptice. Se constituie o rețea de triunghiuri

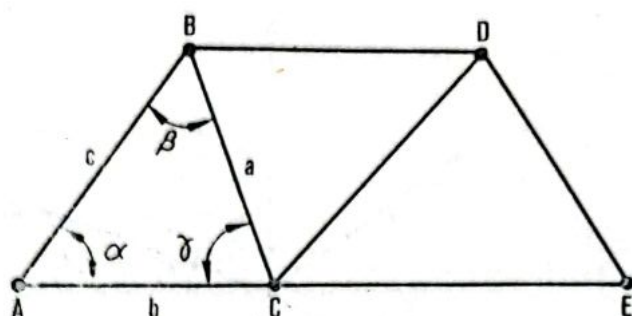


Fig. 3.15. Trilaterația.

ale căror laturi se măsoară în teren, iar unghiurile se calculează în funcție de laturi sau de perimetru. În figura 3.15

$$\begin{aligned}\cos \alpha &= \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \\ \cos \beta &= \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac} \\ \cos \gamma &= \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \\ \text{sau } \gamma &= 200^g - (\alpha + \beta).\end{aligned}\quad (3.33)$$

În funcție de perimetru, notînd $2p = a + b + c$, se obțin formulele calculabile prin logaritmi

$$\begin{aligned}\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} &= \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}} \\ \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} &= \sqrt{\frac{(p-a)(p-c)}{p(p-b)}} \\ \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} &= \sqrt{\frac{(p-a)(p-b)}{p(p-c)}}.\end{aligned}\quad (3.34)$$

Cunoscînd unghiurile, acestea se pot transforma în orientări topografice cînd una din laturi este orientată față de o direcție cunoscută; avînd și distanțele, coordonatele rectangulare ale punctelor, trecînd de la unul la altul, se pot obține ca la drumuire sau radiere. Trilaterația se închide pe un punct cunoscut $M (X_M, Y_M)$.

Diferența dintre coordonatele punctului final și coordonatele aceluiași punct obținute prin calcul succesiv, pune în evidență erorile de poziție

$$\begin{aligned}\epsilon_X &= X_M - X'_M \\ \epsilon_Y &= Y_M - Y'_M\end{aligned}\quad (3.35)$$

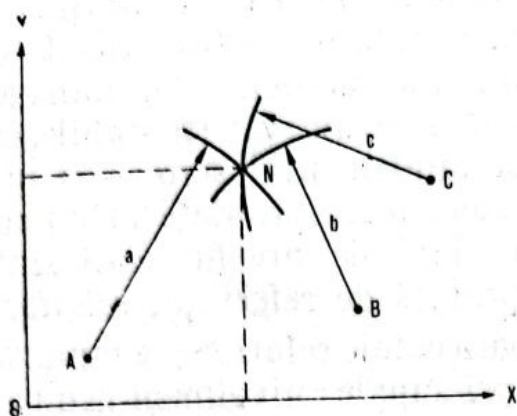


Fig. 3.16. Intersecția liniară.

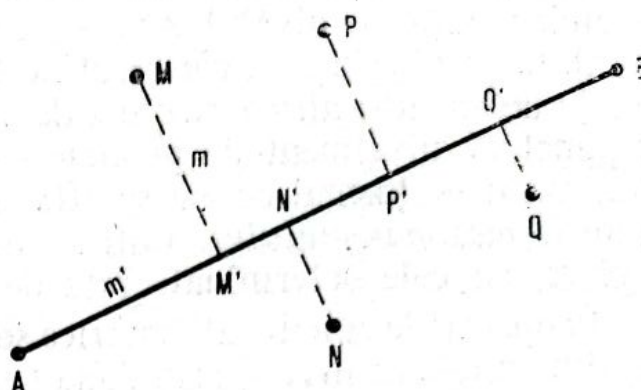


Fig. 3.17. Metoda echerică.

cu ajutorul cărora se corectează diferențele de abscise și ordinate ale tuturor punctelor — în mod egal — pentru că eroarea rezultată din măsurarea laturii unui triunghi, cu un aparat electronic, este independentă de lungimea laturii.

Intersecția liniară permite aflarea coordonatelor unui punct necunoscut la intersecția locurilor geometrice cercuri trasate din trei puncte cunoscute, ale căror raze sînt egale cu distanțele măsurate din fiecare punct cunoscut la punctul necunoscut (figura 3.16).

Metoda aliniamentelor se aplică atunci cînd se cunosc trei puncte, un punct necunoscut putînd fi determinat pe unul din cele două aliniamente care se creează prin măsurarea distanțelor de la o extremitate a aliniamentului principal pînă la intersecția celor două aliniamente și de aici pînă la punctul necunoscut de pe al doilea aliniament.

Metoda echerică se folosește cînd se dispune de o busolă sau de un echer de arpentor (simplu), echer cu oglinzi sau cu prisme, în orașe (la ridicarea cvartalelor și a diferitelor contururi), pe terenuri cu suprafețe mici unde, față de un aliniament principal (magistrală, directoare) se coboară perpendiculare din punctele necunoscute. Se măsoară abscisele pe aliniamentul principal și ordinatele punctelor necunoscute (lungimea perpendicularelor). Prin reprezentarea grafică la o scară convenabilă se pot extrage coordonatele rectangulare ale tuturor punctelor necunoscute (figura 3.17).

3.5. MĂSURĂTORI ALTIMETRICE

Poziția unui punct în spațiu este definită tridimensional, în cadrul unui sistem triaxial, în care, în afară de coordonatele plane rectangulare sau polare, se adaugă elementul *altitudine* (cotă, înălțime).

Operațiile topografice din teren prin care se determină înălțimea punctelor, față de nivelul zero — suprafața geoidului — sau față de o suprafață de referință, a cărei cotă este dată, sint cunoscute sub numele generic de *operații altimetrice* sau *de nivelment*. Fiecare stat își stabilește un punct de nivelment de precizie — punct fundamental zero — la nivelul mării pe țărmul căreia se află (sau a celei mai apropiate mări) cu ajutorul *medimaregrafului*. Cotele măsurate față de nivelul zero sint *absolute*, iar cele determinate față de o suprafață de referință, *relative*.

În operațiile curente altimetrice se măsoară cotele relative ale punctelor (diferențele de nivel), prin două metode principale: nivelment geometric (direct) și nivelment trigonometric (indirect).

Nivelmentul geometric. Determinarea diferenței de nivel dintre două puncte se face prin vizarea orizontală pe o riglă gradată, cu ajutorul unui instrument de nivelment-nivelă (fotografia 3.5). Acesta, instalat într-un punct cunoscut altimetric A , permite înregistrarea înălțimii m (în cm) pe riglă (miră, stadie), după ce, în prealabil, a fost calat (orizontalizat) (figura 3.18). Măsurînd și înălțimea aparatului a în punctul de stație, diferența de nivel este dată de diferența dintre cele două înălțimi: a aparatului și lectura pe stadie în dreptul firului orizontal al reticulului

$$\Delta H = \pm (a - m); \quad H_B = H_A \pm (a - m) \quad (3.36)$$

după cum punctul necunoscut se află mai sus sau mai jos față de planul orizontal care trece prin punctul de stație. Această metodă, numită și *metoda vizărilor simple* sau *metoda vizărilor de la capăt*, se poate combina cu *metoda vizărilor de la mijloc*, cînd nu mai este necesar să se măsoare înălțimea aparatului.

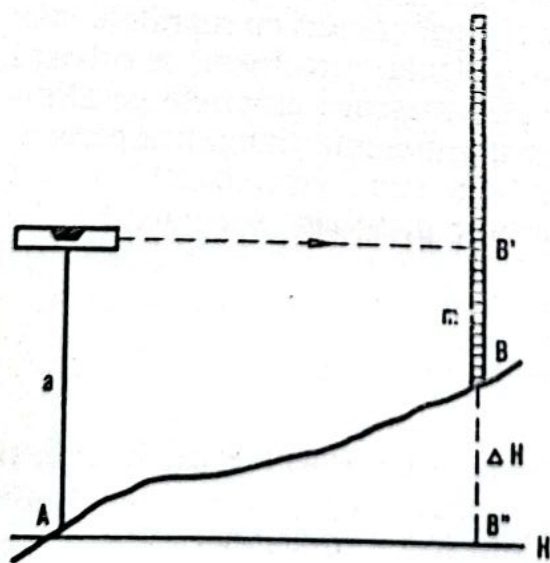
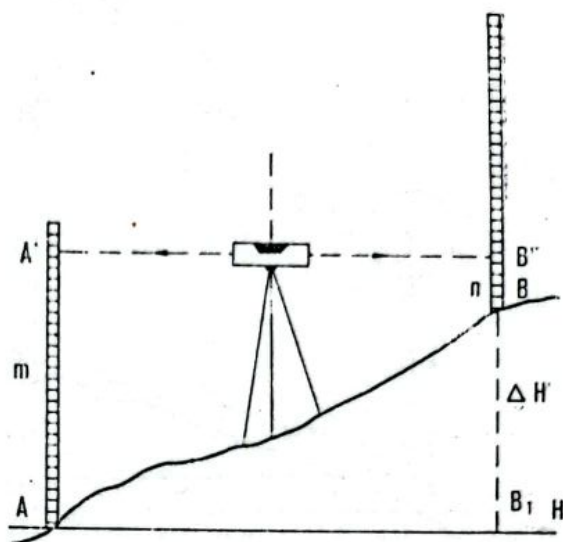


Fig. 3.18. Nivelmentul geometric de la capăt.

Fig. 3.19. Nivelmentul geometric de la mijloc.



În figura 3.19, diferența de nivel ΔH este dată de diferența între cele două citiri pe miră, înapoi m și înainte n

$$\Delta H = \pm (m - n); \quad H_B = H_A \pm (m - n) \quad (3.37)$$

după cum punctul B se află deasupra sau sub planul orizontal care trece prin punctul cunoscut A . Nivelmentul geometric se poate executa simultan cu operațiile de determinare planimetrică a punctelor, atunci când instrumentul de nivelment dispune de un cerc orizontal gradat. Astfel, concomitent cu vizările din cadrul turului de orizont asupra diferitelor puncte necunoscute din teren, când se înregistrează orientările topografice (citirile orizontale) și distanțele stadimetrice, se notează și citirile în cm pe firul orizontal al reticulului, ca și înălțimile aparatului în fiecare stație. Când se cere o mai mare precizie nivelitică și când se dispune de timp, operațiile planimetrice și cele altimetrice se execută succesiv. Nivelmentul geometric dă cea mai mare precizie în definirea altimetrică a unui punct, mai ales în terenurile mai puțin accidentate. Când se operează într-un teritoriu cu un relief cu denivelări mari, nivelmentul geometric este limitat de panta terenului și de înălțimea mirei. Din această cauză, obligativitatea efectuării mai multor stații, scade precizia nivelitică și mărește durata lucrării în teren.

Nivelmentul trigonometric. Acesta permite calcularea diferenței de nivel dintre două puncte prin măsurarea distanței și a unghiului de înclinare (sau a distanței zenitale).

Cu un teodolit instalat în punctul altimetric cunoscut (figura 3.20 a), prin vizarea pe miră la o înălțime egală cu înălțimea aparatului, se înregistrează pe cercul vertical (pe eclimetricu) un unghi α egal cu unghiul format de linia de teren cu planul orizontal al locului de stație. Prin

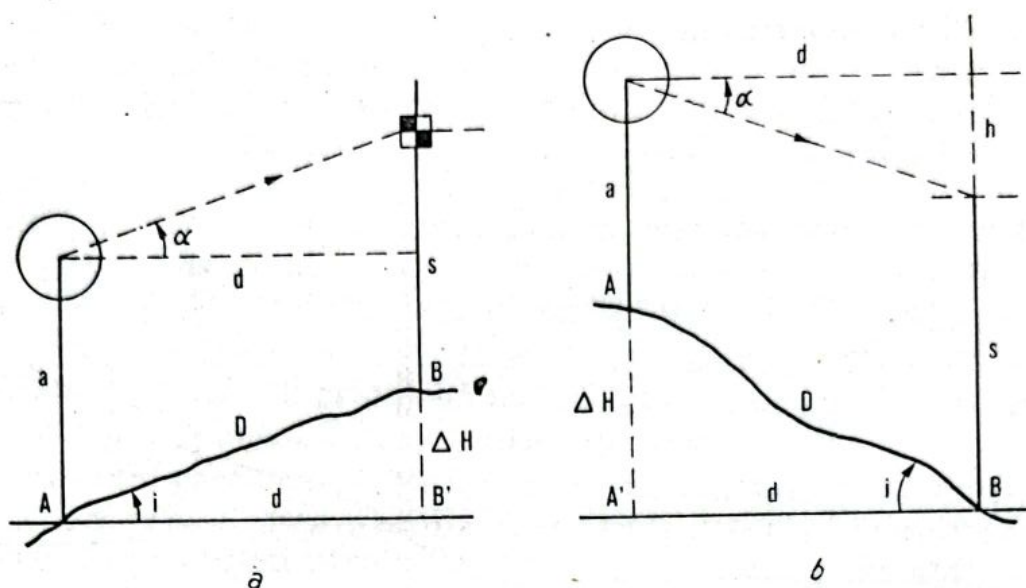


Fig. 3.20. Nivelmentul trigonometric de la capăt (a) pentru $i=1$ și (b) pentru $i \neq 1$.

măsurarea directă sau indirectă a distanței dintre cele două puncte, diferența de nivel este dată de relațiile (când $a = s$, deci $\alpha = i$)

$$\Delta H = D \sin \alpha \quad H_B = H_A \pm D \sin \alpha$$

unde D — este distanța măsurată direct

$$\Delta H = d \operatorname{tg} \alpha \quad H_B = H_A \pm d \operatorname{tg} \alpha \quad (3.38)$$

d — fiind distanța redusă la orizont

$$\Delta H = D' \sin \alpha \cos \alpha; \quad H_B = H_A \pm D' \sin \alpha \cos \alpha \quad (3.39)$$

unde D' — este distanța măsurată stadimetric.

Când vizarea nu se poate efectua paralel cu linia de teren (în cazul observațiilor asupra semnalelor geodezice și topografice a căror înălțime se cunoaște), în calculul diferențelor de nivel intervine diferența dintre înălțimea aparatului și înălțimea semnalului. Din figura 3.20 b se obține

$$\Delta H = h \pm (a - s) \quad \text{unde} \quad h = d \operatorname{tg} \alpha \quad (3.40)$$

și a — este înălțimea aparatului în stația cunoscută altimetric, iar s — înălțimea semnalului. Atunci

$$H_B = H_A + d \operatorname{tg} \alpha \pm (a - s). \quad (3.41)$$

Nivelmentul trigonometric se poate executa „la capăt” și „la mijloc”, ca și nivelmentul geometric. Aparatul fiind instalat între cele două puncte A și B se determină unghiurile verticale și distanțele de la stație

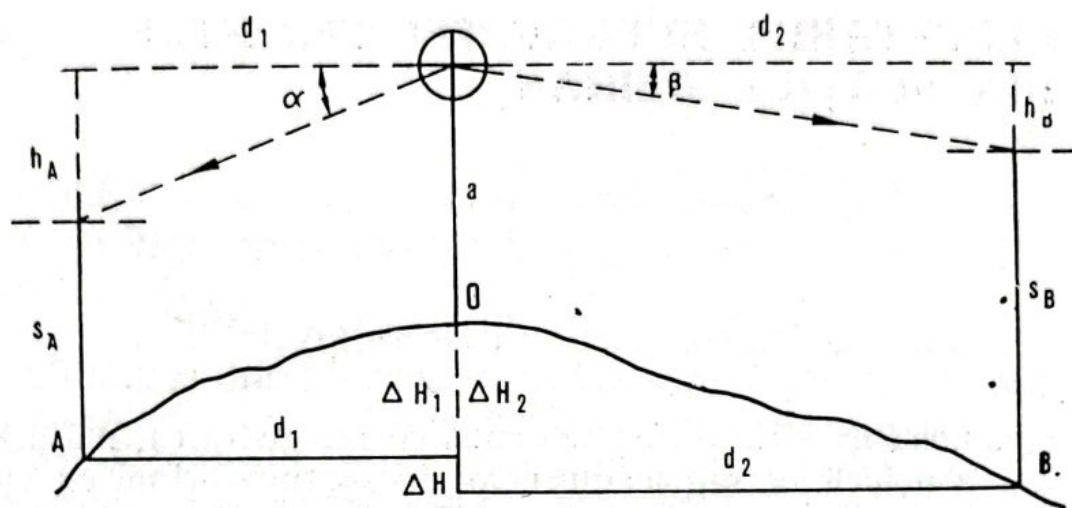


Fig. 3.21. Nivelmentul trigonometric de mijloc.

pînă la fiecare punct. Diferența de nivel dintre cele două puncte fiind dată de diferența dintre cele două cote relative stabilite din punctul de stație, înălțimea aparatului se anulează (figura 3.21).

$$\Delta H_1 = h_A + s_A - a; \quad h_A = d_1 \operatorname{tg} \alpha$$

$$\Delta H_2 = h_B + s_B - a; \quad h_B = d_2 \operatorname{tg} \beta$$

$$\Delta H = \Delta H_2 - \Delta H_1$$

$$\Delta H = d_2 \operatorname{tg} \beta - d_1 \operatorname{tg} \alpha + s_B - s_A. \quad (3.42)$$

Concomitent cu operațiile planimetrice de determinare a punctelor în teren (radierea, drumuirea, intersecția), se poate executa și nivelmentul trigonometric, prin înregistrarea în plus a unghiului vertical care se citește pe eclimetru. La procedeele de intersecție unde nu se măsoară distanțele, acestea, după determinarea punctelor necunoscute, se calculează în funcție de coordonatele rectangulare sau se extrag grafic de pe minuta topografică.

4 CERCETAREA SUPRAFETEI TERESTRE DIN SPAȚIUL AERIAN

Fotogrammetria, știința care se ocupă cu înregistrarea, măsurarea și reprezentarea obiectelor sau fenomenelor în spațiu și timp cu ajutorul imaginilor fotografice ale acestora, a găsit o largă aplicare în domeniul măsurării și reprezentării suprafeței terestre. Fotografia suprafeței terestre obținută din spațiul aerian cu ajutorul unor camere fotografice speciale instalate pe diferite platforme aeriene (avion, balon, elicopter etc.) reprezintă o sursă de informații deosebit de bogată. Înregistrările fotografice obținute rapid de la înălțimi de câteva sute de metri și până la câțiva zeci de kilometri conțin informații care pot fi interpretate tematic, vizual sau automatizat, cu privire la suprafețe mai mici sau mai mari de teren.

Fotografia aeriană metrică — caracterul metric fiind creat de camera aeriană de preluare, pelicula fotografică și condițiile de înregistrare — numită *fotogramă aeriană*, conține reconstituirea geometrică a unei suprafețe de teren și posedă informații cantitative și calitative cu privire la aceasta. Procedeele geometrice sau numerice ale fotogrammetriei sînt generate de legătura și diferențele existente între modelul matematic reprezentat de perspectiva centrală (imaginca fotografică) și realizarea fizică a acestuia. Cum obiectul cel mai frecvent înregistrat, reconstituit și măsurat cu ajutorul fotogramei aeriene este suprafața Pămîntului, trebuie precizat că spre deosebire de geodezie, fotogrammetria studiază această suprafață pe imaginile fotografice metrice ale acesteia.

În funcție de locul de unde se realizează înregistrarea fotogrammetrică se deosebesc: fotogrammetria terestră, aeriană și cosmică (a se vedea capitolul 8).

În cercetarea din aer a suprafeței terestre, trebuie luate în considerare tehnicile de *teledeteecție aeriană* care utilizează înregistrări fotografice convenționale și neconvenționale, ca și înregistrări nefotografice ale Pămîntului, pentru descrierea sau măsurarea sa (a se vedea punctele 4.1 și 4.5). Nu se pot omite nici măsurătorile geodezice efectuate în ultimele decenii cu ajutorul țintelor aeriene mobile, în vederea executării lanțurilor mari de triangulație, sau a legării unor triangulații realizate inde-

pendent, uneori despărțite de mari întinderi de apă, prin observarea simultană a unor ținte aflate temporar în spațiul aerian (avion, balon sau parașută care produc sclipiri).

4.1. AEROFOTOGRAFIEREA CONVENȚIONALĂ ȘI NECONVENȚIONALĂ

Înregistrările fotografice aeriene se realizează de pe o *platformă* mobilă sau fixă aflată la diferite distanțe față de suprafața terestră, numite *înălțimi de aerofotografiere*, folosind drept captor o cameră fotoaeriană simplă sau multiplă, normală, metrică sau multispectrală și ca *sensor* o peliculă fotosensibilă alb-negru sau color pentru domeniul vizibil sau infraroșu al spectrului electromagnetic. Fotografiile realizate cu aceste mijloace, în alb-negru sau color, spectrozonale sau multispectrale, fals color sau color compus, scot în evidență anumite caracteristici ale suprafeței terestre, desigur în funcție de condițiile atmosferice sau perioada din zi sau an de înregistrare, cea metrică fiind deosebit de utilă în „descrierea” matematică a acestei suprafețe. Fotografia convențională este cea alb-negru sau color realizată în domeniul vizibil al spectrului electromagnetic, iar cea neconvențională se consideră fotografia în infraroșul apropiat (alb-negru sau color), cea spectrozonală sau multispectrală în benzi înguste ale spectrului. În fotografia 4.1 este prezentată o înregistrare fotografică convențională în alb-negru obținută de la înălțime mare de aerofotografiere (5 000 m), în care se observă foarte clar, datorită umbrelor, o zonă muntoasă cu relief pronunțat, mărginită în partea inferioară de albia unui curs de apă, iar în fotografia 4.2 o înregistrare aeriană realizată de la înălțime foarte mică (600 m) în care se disting numeroase elemente de detaliu (gospodării, culturi, drumuri).

Fotografia aeriană în infraroșu scoate în evidență caracteristici ale suprafeței terestre care nu pot fi redată de fotografia alb-negru convențională. În fotografia 4.3 se observă un curs de apă foarte clar redat, ca și numeroase brațe vechi ale acestuia, precum și câteva localități foarte fin conturate deși imaginea este la scară mică.

Camera fotoaeriană. Un sistem fotografic este sensorul cel mai comun, utilizat de foarte multă vreme pentru înregistrări de la distanță, din spațiul aerian, a suprafeței terestre. O înregistrare fotografică este influențată de două grupe de parametri: parametrii mediului (iradianța solară și a cerului I_s , iradianța traiectoriei I_t , transmitanța atmosferei T_a și albedoul suprafeței înregistrate ρ) aflați între camera fotoaeriană și suprafața terestră, greu de determinat deoarece variază în timpul înregistrărilor și parametrii captor-sensorului (transmitanța obiectivului T_o , durata deschiderii obturatorului t , deschiderea relativă f/n , sensibilita-

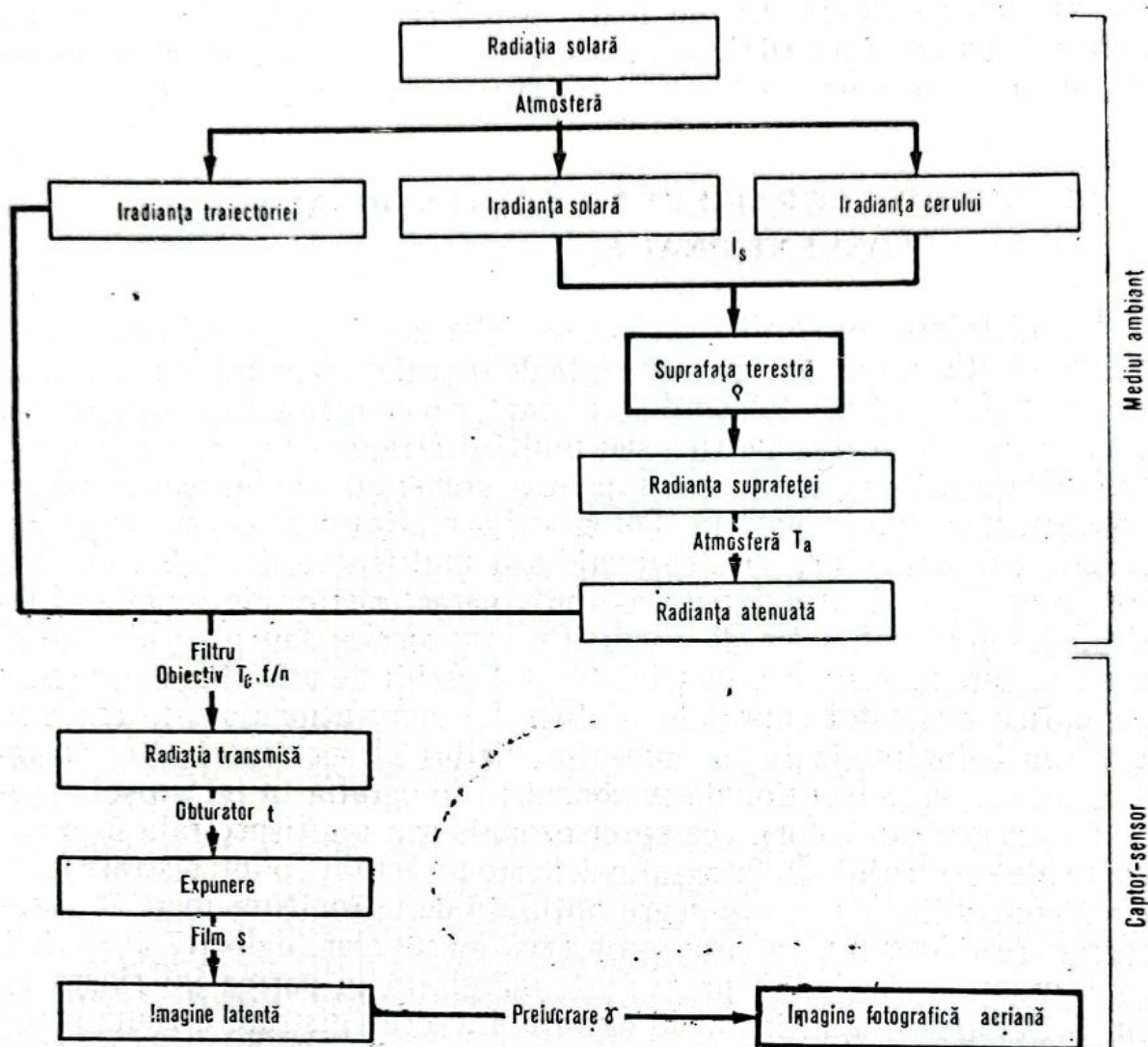


Fig. 4.1. Schema generală a unui sistem fotografic aerian și parametrii de influență.

tea emulsiei fotografice s în funcție de lungimea de undă și coeficientul de contrast γ) care rămân sau pot fi făcuți să rămână constant și se pot determina, aceasta numindu-se *calibrare radiometrică* (figura 4.1).

Radianța totală primită de la captor (camera fotografică) este funcție de parametrii mediului înconjurător

$$R_t = \frac{1}{\pi} (\rho T_a I_s + I_l) \quad (4.1)$$

iar răspunsul sensorului (material fotosensibil) la procesul de expunere (înregistrarea propriu-zisă a imaginii suprafeței) și obținere a negativului (densitate) este funcție de parametrii captorului și sensorului

$$D = D_o + \gamma \log \left[\frac{R_t T_o t s}{(f/n)^2} \right] \quad (4.2)$$

Camerele fotoaeriene se pot grupa în: normale, metrice (fotografia 4.5), folosite de obicei în fotogrammetrie și multispectrale (fotografia 4.6), folosite pentru înregistrări de teledetecție. Camerele multispectrale sînt construite pentru a realiza simultan imagini în diferite benzi spectrale (cu ajutorul emulsiilor și filtrelor diferite) prin gruparea a mai multor camere fotografice simple, prin obținerea a mai multor imagini pe aceeași peliculă cu o cameră cu mai multe obiective, sau prin separarea optică a imaginii în interiorul camerei.

Materiale fotosensibile. Filmul fotoaerian utilizat pentru înregistrări fotogrammetrice are de regulă dimensiunile $24 \text{ cm} \times 76 \text{ m}$, făcînd posibilă obținerea fotogramelor la formatul standard $23 \times 23 \text{ cm}$ și este realizat pentru înregistrări convenționale alb-negru și color sau pentru înregistrări neconvenționale în infraroșu, de asemenea alb-negru și fals color. Obținerea imaginilor fotografice spectrozonale sau multispectrale în benzi înguste este posibilă cu ajutorul *filtrelor optice* de tăiere. Limita inferioară de sensibilitate a emulsiilor fotografice este situată în ultravioletul apropiat ($0,360 \mu\text{m}$), iar dacă pentru o emulsie ortocromatică limita superioară se extinde pînă către $0,580 \mu\text{m}$ și pentru una pancromatică la $0,630 \mu\text{m}$, pentru filmul aerian alb-negru aceasta ajunge la $0,720 \mu\text{m}$ (acoperind tot spectrul vizibil), iar la filmul aerian infraroșu ajunge la $0,900 \mu\text{m}$, deci în infraroșul apropiat și chiar, pentru cercetări, la $1,200 \mu\text{m}$.

Înregistrarea fotografică aeriană. Aerofotografierea se poate executa într-un punct, cum se spune, înregistrînd o porțiune din suprafața terestră într-o fotogramă, se poate executa în bandă de fotograme (figura 4.2) cînd se cercetează o fîșie de teren (un curs de apă, o cale de comunicații, în general un element liniar de suprafață) și, mai curent, pe suprafață (bloc de fotograme). Pentru a se exploata o fotogramă numai planimetric, prin observare monoscopică, acoperirea longitudinală dintre fotogramele aceleiași benzi trebuie să fie $a_x \sim 10 - 20\%$, iar pentru observarea și măsurarea stereoscopică în vederea redării reliefului $a_x \sim 60 - 70\%$; acoperirea transversală, în ambele cazuri, este $a_y \sim 20 - 30\%$ (figura 4.3). Orice aerofotografiere a unei suprafețe de teren se realizează în baza unui *proiect de aerofotografiere*. Elementele principale ale unei înregistrări fotografice aeriene, conținute și de proiectul de aerofotografiere, sînt:

— scara fotogramelor (de aerofotografiere), ce rezultă din figura 4.2 b

$$M = \frac{1}{m_F} = \frac{l}{L} = \frac{f}{H} = \frac{d_F}{D_S} \quad (4.3)$$

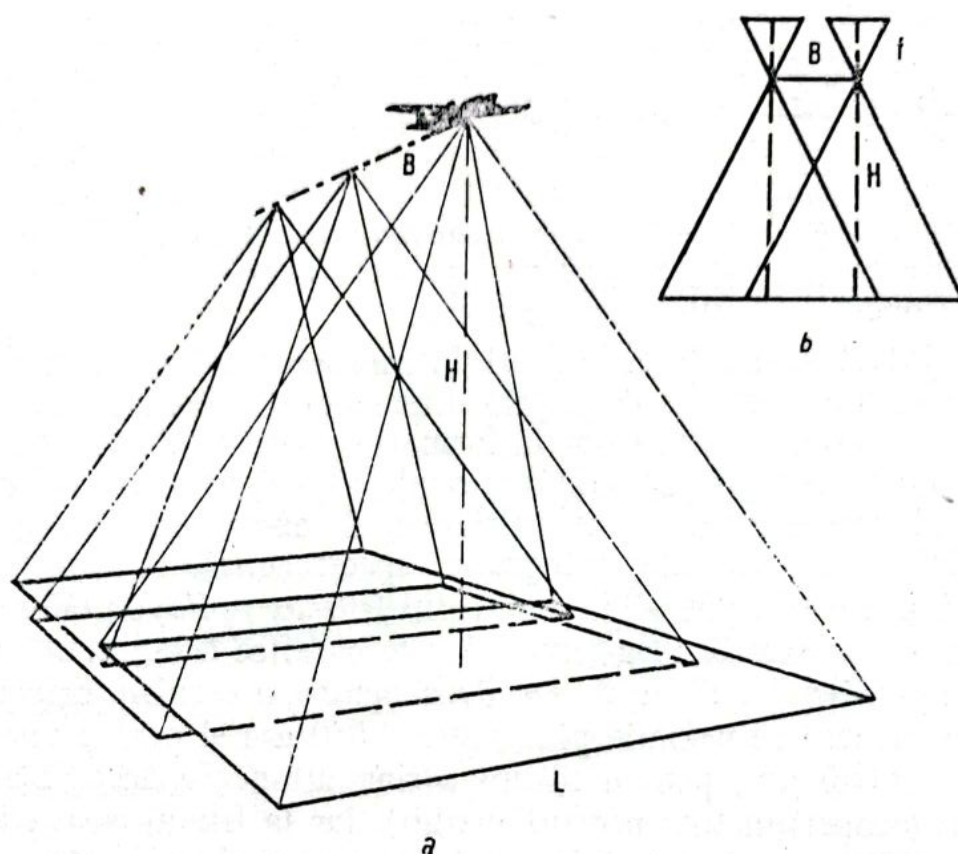


Fig. 4.2. Înregistrarea aeriană în bandă de fotograme (a) și fasciculul fotogrammetric (b).

în care m_F — este numitorul scării, l — latura fotogramei, L — lungimea din teren corespunzătoare laturii fotogramei, f — distanța focală a camerei, H — înălțimea (relativă) de aerofotografice, d_F — o distanță măsurată pe fotogramă și D_s — corespondentul lui d_F în teren;
— înălțimea de zbor se deduce din relația 4.3

$$H = m_F f; \quad (4.4)$$

— baza de aerofotografiere se stabilește cu relația

$$B = m_F l \left(1 - \frac{a_x}{100} \right) \quad (4.5)$$

deci este în funcție de acoperirea longitudinală în procente;

— distanța dintre două benzi de fotograme vecine

$$D = m_F l \left(1 - \frac{a_y}{100} \right); \quad (4.6)$$

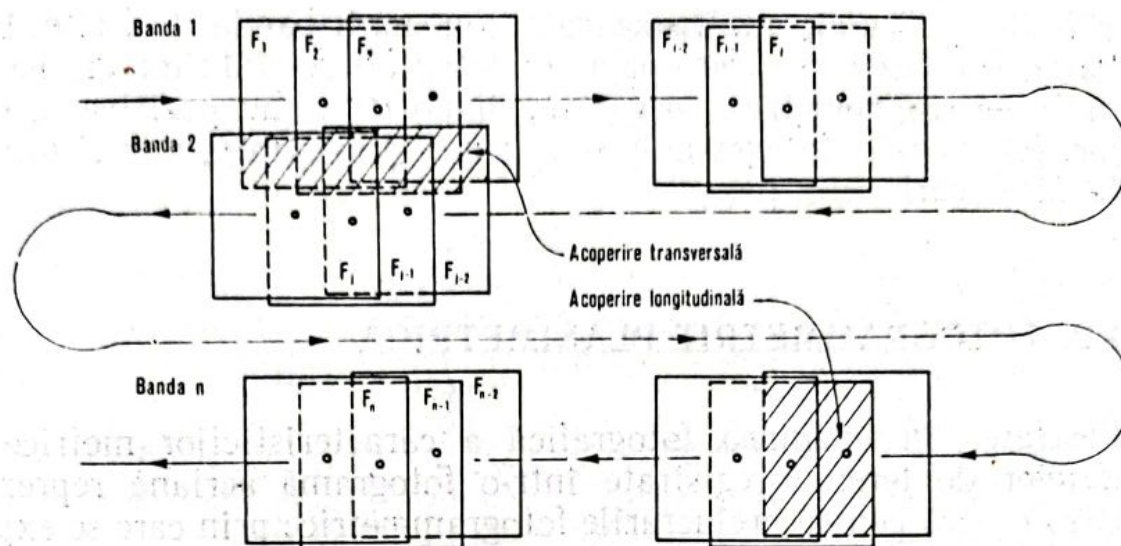


Fig. 4.3. Acoperirea unei suprafețe terestre cu un bloc de fotografii aeriene.

— suprafața utilă acoperită de o fotografie

$$S_u = m_F^2 s_F \left(1 - \frac{a_x}{100}\right) \left(1 - \frac{a_y}{100}\right) \quad (4.7)$$

în care s_F — este suprafața fotogramei;

— suprafața de teren înregistrată într-o fotografie

$$S_T = L^2 = m_F^2 l^2 = m_F^2 s; \quad (4.8)$$

— intervalul de așteptare (între două expuneri succesive) se calculează cu relația

$$t_a = \frac{B}{v} \quad (4.9)$$

în care v — este viteza avionului.

Alte elemente ale aerofotografierii care se stabilesc în cadrul proiectului sînt: timpul de expunere, valoarea trenării, unghiul de derivă, numărul total de benzi și de fotograme, cantitatea de film necesară, direcția de aerofotografiere ș.a.

Teledetecția aeriană, care realizează înregistrări de la distanță în sistem fotografic sau pe bandă magnetică, folosind senzori care acționează în diferite domenii ale spectrului electromagnetic (a se vedea punctul 4.5), urmărește îndeosebi aspectul calitativ al informațiilor și în mai mică măsură pe cel metric. Înregistrările fotografice de teledetecție pot fi: multidatate (repetate), multietajate (diferite scări), multiemul-

sie (diferite pelicule), multispectrale sau multibandă (diferite benzi spectrale). Produsele realizate prin aerofotografiere sînt: fotograme (sau fotografii aeriene nemetrice) negative, diapozitive sau pozitive la scara de zbor, fotomosaic (fotografia 4.4) al zonei înregistrate, mărimi fotografice la alte scări.

4.2. FOTOGRAMMETRIE PLANIMETRICĂ

Păstrarea în imaginea fotografică a caracteristicilor metrice ale suprafețelor de teren înregistrate într-o fotogramă aeriană reprezintă condiția de bază pentru prelucrările fotogrammetrice prin care se exploatează conținutul de informații calitative și cantitative. Este cunoscut că din punct de vedere matematic o fotogramă aeriană este o proiecție centrală, putîndu-se stabili relații matematice riguroase între punctele suprafeței terestre înregistrate și corespondentele acestora din imaginea fotografică. O fotogramă aeriană este metrică prin: *elementele de construcție* (formatul fotogramei, indicii de referință, elementele marginale de înregistrare și suportul său nedeformabil) și *elementele de determinare în spațiu* (de orientare interioară și orientare exterioară).

Elementele de orientare interioară sînt (figura 4.4 a): coordonatele x_H, y_H ale punctului principal H față de un sistem de coordonate Mxy al fotogramei în funcție de indicii de referință și distanța focală f a camerei aerofotogrammetrice, materializată de centrul sistemului optic al obiectivului camerei (centrul de proiecție O) și planul fotogramei F .

Elementele de orientare exterioară sînt (figura 4.4 b): coordonatele X_0, Y_0, Z_0 ale centrului de proiecție O , unghiurile de înclinare longitudinală φ și transversală ω a fotogramei, precum și unghiul de rotire κ a fotogramei în planul său.

În funcție de elementele de orientare amintite se pot scrie *ecuațiile de bază ale fotogramei aeriene*, care stabilesc legătura existentă între coordonatele unui punct din teren $P(X_P, Y_P, Z_P)$ și coordonatele punctului corespondent din imagine $p(x_p, y_p)$. Pornind de la faptul că p, O și P sînt coliniare, fiind pe aceeași rază de proiecție, între coordonatele lor există rapoarte simple și printr-o serie de transformări se pot scrie ecuațiile de bază ale perspectivei centrale. Sub formă matricială

$$\begin{pmatrix} X_P - X_0 \\ Y_P - Y_0 \\ Z_P - Z_0 \end{pmatrix} = \mu \begin{pmatrix} a_1 x_p + a_2 y_p - a_3 f \\ b_1 x_p + b_2 y_p - b_3 f \\ c_1 x_p + c_2 y_p - c_3 f \end{pmatrix} \quad (4.10)$$

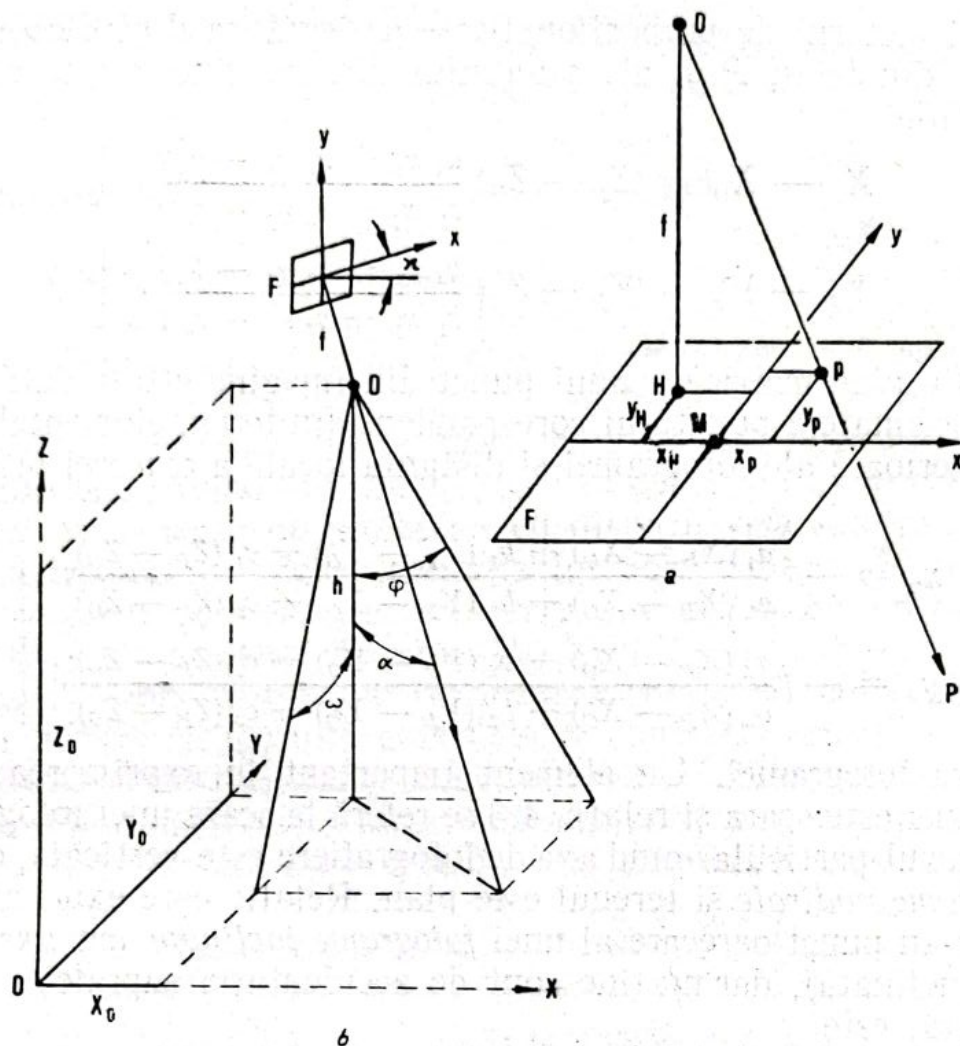


Fig. 4.4. Fotograma aeriană și elementele sale de orientare interioară (a) și de orientare exterioară (b).

în care $a_1, a_2, a_3; b_1, b_2, b_3; c_1, c_2, c_3$ sînt cosinusurile directoare ale axelor unui sistem de coordonate față de celălalt, în funcție de cele trei elemente unghiulare de orientare exterioară

$$\begin{aligned}
 a_1 &= \cos \varphi \cos \kappa \\
 a_2 &= -\cos \varphi \sin \kappa \\
 a_3 &= \sin \varphi \\
 b_1 &= \cos \omega \sin \kappa + \cos \kappa \sin \omega \sin \varphi \\
 b_2 &= \cos \omega \cos \kappa - \sin \kappa \sin \omega \sin \varphi \\
 b_3 &= -\cos \varphi \sin \omega \\
 c_1 &= \sin \omega \sin \kappa - \cos \omega \cos \kappa \sin \varphi \\
 c_2 &= \sin \omega \cos \kappa + \cos \omega \sin \kappa \sin \varphi \\
 c_3 &= \cos \varphi \cos \omega.
 \end{aligned}
 \tag{4.11}$$

Eliminând factorul de proporționalitate μ , legătura dintre coordonatele punctului din teren P și ale punctului din imagine p este exprimată prin relațiile

$$\left. \begin{aligned} X_P - X_O &= (Z_P - Z_O) \frac{a_1 x_p + a_2 y_p - a_3 f}{c_1 x_p + c_2 y_p - c_3 f} \\ Y_P - Y_O &= (Z_P - Z_O) \frac{b_1 x_p + b_2 y_p - b_3 f}{c_1 x_p + c_2 y_p - c_3 f} \end{aligned} \right| \quad (4.12)$$

Poziția planimetrică a unui punct din imagine este redată în funcție de coordonatele punctului corespondent din teren, elementele de orientare exterioară ale fotogramei și distanța focală a camerei prin formulele

$$\left. \begin{aligned} x_p &= -f \frac{a_1 (X_P - X_O) + b_1 (Y_P - Y_O) + c_1 (Z_P - Z_O)}{a_3 (X_P - X_O) + b_3 (Y_P - Y_O) + c_3 (Z_P - Z_O)} \\ y_p &= -f \frac{a_2 (X_P - X_O) + b_2 (Y_P - Y_O) + c_2 (Z_P - Z_O)}{a_3 (X_P - X_O) + b_3 (Y_P - Y_O) + c_3 (Z_P - Z_O)} \end{aligned} \right| \quad (4.13)$$

Scara fotogramei. Un element important în exprimarea metrică a fotogramei este scara și relația 4.3 se referă la scara unei fotograme aeriene în cazul particular cînd axa de fotografiere este verticală, deci pentru *fotograme nadirale* și terenul este plan. Relația care exprimă riguros scara într-un punct oarecare al unei *fotograme înclinate* (cu axa de fotografiere înclinată), dar nu ține cont de accidentația suprafeței de teren înregistrată, este

$$M_F = \frac{f}{H} \cdot \frac{\left(\cos \alpha - \frac{x_p}{f} \sin \alpha \right)^2}{\sqrt{\cos^2 \delta + \left[\frac{y_p}{f} \cos \delta \sin \alpha + \sin \delta \left(\cos \alpha - \frac{x_p}{f} \sin \alpha \right) \right]^2}} \quad (4.14)$$

în care α — este unghiul de înclinare al fotogramei, sau axei de fotografiere (a se vedea figura 4.4), x_p și y_p — coordonatele punctului în care se calculează scara și δ — unghiul direcției radiale către punctul menționat cu verticala principală. Cînd direcția radială către punctul în care se determină scara trece prin punctul principal al fotogramei, caz frecvent întîlnit, $x \sin \delta = y \cos \delta$ și relația 4.14 devine

$$M_F = \frac{f}{H} \cdot \frac{\left(\cos \alpha - \frac{x_p}{f} \sin \alpha \right)^2}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha \sin^2 \delta}} \quad (4.15)$$

Din cauza înclinării fotogramei și a diferențelor de nivel existente în terenul aerofotografiat apar diferite scări în cuprinsul imaginii, dar

și deplasări ale punctelor pe fotogramă. Aceste deplasări pot fi provocate și din alte motive: curbura Pământului, refracția atmosferică, distorsiunea obiectivului camerei, neplaneitatea filmului în planul focal, deformările materialelor fotografice, trenarea ș.a.

Redresarea fotogramelor. Fotoredresarea este metoda, frecvent utilizată în fotogrammetria planimetrică, prin care fotograma înclinată este transformată în fotogramă nadirală, cu o scară unică în tot cuprinsul ei dacă se face abstracție de diferențele de nivel existente în teren, fiind un produs metric. Aparatul fotogrammetric utilizat curent pentru redresarea fotogramelor aeriene este *fotoredresatorul* (fotografia 4.7). Aducerea la scara necesară se face prin mărirea-micșorarea imaginii fotografice redresate. Avînd în principal o sursă de lumină, o portfotogramă, un obiectiv și o masă de proiecție, cu dispozitivele sale anexe fotoredresatorul trebuie să asigure condiția lui Scheimpflug (de perspectivitate) în procesul de redresare, prin care cele trei plane (al fotogramei, al obiectivului și al mesei de proiecție) trebuie să se intersecteze după o linie dreaptă, concomitent cu respectarea condiției impuse de ecuația lentilelor pentru asigurarea automată a clarității imaginii proiectate la deplasarea celor trei plane unul față de celălalt.

Cînd suprafața terestră înregistrată în cuprinsul fotogramei aeriene este plană și orizontală $Z_P = 0$ și $Z_O = H$ și relațiile 4.12 devin

$$\left. \begin{aligned} X_P - X_O &= -H \frac{a_1 x_p + a_2 y_p - a_3 f}{c_1 x_p + c_2 y_p - c_3 f} \\ Y_P - Y_O &= -H \frac{b_1 x_p + b_2 y_p - b_3 f}{c_1 x_p + c_2 y_p - c_3 f} \end{aligned} \right| \quad (4.16)$$

iar cînd fotograma este nadirală, în relațiile 4.12 $a_1=b_2=c_3=1$ și $a_2=a_3=b_1=b_3=c_1=c_2=0$ deoarece $\varphi=\omega=\kappa=0$ și se obține

$$\left. \begin{aligned} X_P - X_O &= \frac{x_p}{-f} (Z_P - Z_O) \\ Y_P - Y_O &= \frac{y_p}{-f} (Z_P - Z_O) \end{aligned} \right| \quad (4.17)$$

Egalînd formulele 4.16 și 4.17 se obțin coordonatele x'_p, y'_p ale unui punct pe fotograma nadirală în funcție de coordonatele aceluiasi punct din fotograma înclinată luată de la aceeași înălțime

$$\left. \begin{aligned} x'_p &= -f \frac{a_1 x_p + a_2 y_p - a_3 f}{c_1 x_p + c_2 y_p - c_3 f} \\ y'_p &= -f \frac{b_1 x_p + b_2 y_p - b_3 f}{c_1 x_p + c_2 y_p - c_3 f} \end{aligned} \right| \quad (4.18)$$

aceste formule putînd fi utilizate pentru *redresarea numerică* dacă se cunosc elementele unghiulare de orientare exterioară (φ , ω , κ). Dacă nu se cunosc cele trei unghiuri, acestea se pot determina în prealabil cu ajutorul relațiilor 4.16 cunoscînd coordonatele a cel puțin patru puncte pe suprafața de teren înregistrată în fotogramă.

Pentru redresarea fotogramelor care conțin terenuri accidentate s-au elaborat metode specifice: redresarea pe zone, pe fațete, sau redresarea diferențială (ortofotoredresarea).

Fotoplanul și fotoschema. Fotoplanul reprezintă produsul principal al fotogrammetriei planimetrice; este un plan topografic cu imagine fotografică și se realizează prin asamblarea (montarea) fotogramelor redresate (pe puncte raportate) pe un suport nedeformabil, la scara necesară. Prin asamblarea unor fotograme redresate pe elemente planimetrice culese de pe o hartă se obține *fotoschema*, un produs fotogrammetric inferior ca precizie, iar dacă fotogramele n-au fost redresate ci aduse numai la aceeași scară aproximativă se obține *fotoasamblajul*.

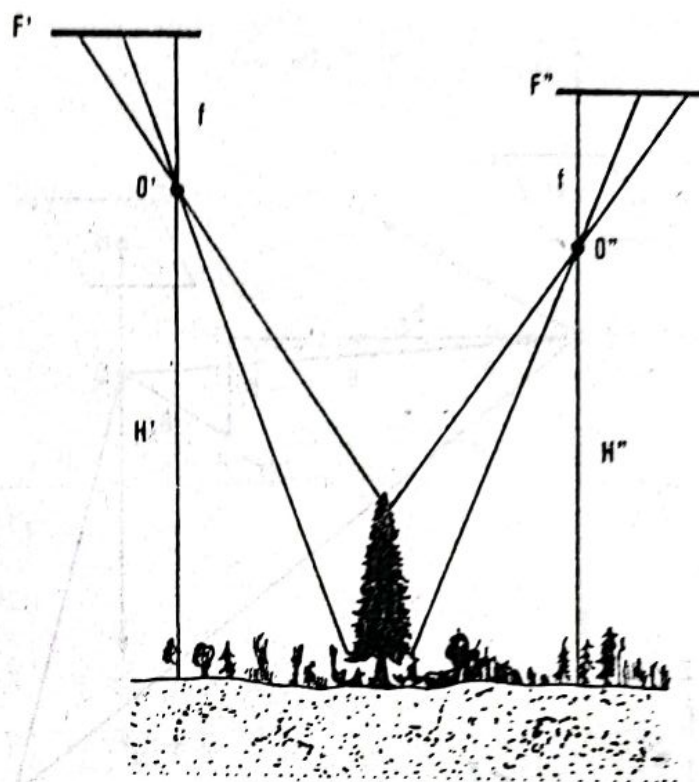
La metoda combinată de realizare a planurilor topografice fotoplanul reprezintă sursa elementelor planimetrice, iar relieful este obținut prin mijloace topografice sau este preluat de pe alte materiale cartografice.

Cunoscut fiind că fotoplanul se realizează pentru terenuri plane, s-au pus la punct metode de întocmire a acestuia pentru zone cu diferențe de nivel mici, pe un plan mediu de referință, sau cînd terenul este mai accidentat, prin redresare diferențială, obținîndu-se *ortofotoplanul*. Un fotoplan pe care s-au aplicat curbe de nivel, s-au scos în evidență unele elemente planimetrice și toponimia se numește *fotohartă*, aceasta fiind din ce în ce mai solicitată de cei care cercetează suprafața terestră.

4.3. STEREOFOTOGRAMMETRIE

Imaginea cuprinsă într-o singură fotogramă aeriană permite observarea și măsurarea suprafeței terestre doar planimetric (coordonatele X și Y ale unui punct al acestei suprafețe), măsurarea celei de a treia coordonate Z , înălțimea obiectelor, fiind posibilă doar într-o imagine stereoscopică. O ramură foarte dezvoltată a fotogrammetriei, *stereofotogrammetria*, permite cercetarea spațială a obiectelor de pe suprafața terestră cu ajutorul a două fotograme conjugate și prin intermediul vederii binoculare. Vederea monoculară face posibilă efectuarea de aprecieri în profunzime, datorită unor elemente luate din experiență: compararea dimensiunilor aparente ale obiectelor cunoscute, acoperirea parțială a obiectelor de către altele situate mai aproape, micșorarea dimensiunilor aparente ale obiectelor pe măsură ce distanța crește, micșorarea

Fig. 4.5. Observarea stereoscopică a obiectelor.



clarității obiectelor odată cu creșterea depărtării. Vederea binoculară face posibilă observarea în profunzime a obiectelor deoarece, pentru un același obiect, fiecare ochi formează o imagine diferită și la creier se suprapun două imagini formându-se o imagine spațială. Vederea în profunzime se numește și vedere în relief sau vedere stereoscopică.

Realizarea observării stereoscopice indirecte care se bazează pe reconstituirea imaginii spațiale a unui obiect cu ajutorul a două imagini conjugate ale sale, necesită îndeplinirea a cinci condiții: obiectul să fie înregistrat din două puncte diferite O' , O'' (figura 4.5), diferența de scară a celor două imagini să nu depășească 16%, direcțiile de observare către punctele imagine corespondente să fie coplanare, să se obțină acomodarea ochilor la orice unghi de convergență, fiecare ochi să observe separat fiecare imagine, F' și F'' . Pentru realizarea *efectului stereoscopic* a imaginii în relief, au fost stabilite cinci mijloace: optice (*stereoscoape, anagliffe, lumină polarizată*) și mecanice (*iluminare succesivă, rastere*), imaginea spațială realizată cu aceste procedee numindu-se *model optic* sau *spațial, model stereoscopic* sau *stereomodel*.

Pentru observarea stereoscopică a fotogramelor aeriene și pentru măsurători simple se folosesc de regulă *stereoscopul* sau *interpretoscopul* (fotografia 4.8), aparat care permite observarea imaginilor stereoscopice, negative, diapozitive sau pozitive, la scara de înregistrare sau mărite până la 15 x, simultan de către doi observatori.

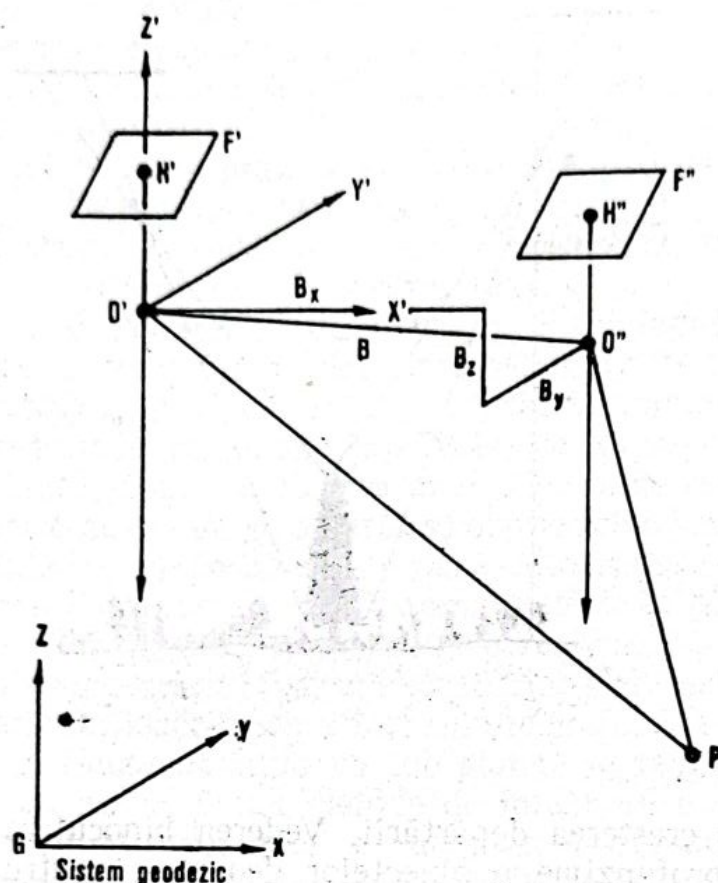


Fig. 4.6. Stereograma și elementele de orientare exterioară.

Stereograma și măsurarea stereoscopică. Un ansamblu de două fotograme conjugate preluate asupra aceleiași suprafețe de teren din două puncte succesive, care pot fi observate și măsurate stereoscopic, se numește stereogramă. Imaginea stereoscopică virtuală realizată de un aparat de observare, în condiții fotogrammetrice, constituie stereomodelul.

Într-o stereogramă $F'F''$, formată din două fotograme aeriene, cuprinzând o suprafață de teren înregistrată din două puncte de aerofotografiere succesive O' și O'' , aflate la o distanță în spațiu numită bază de aerofotografiere B (figura 4.6)

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad (4.19)$$

unde B_x , B_y și B_z sînt componentele bazei de fotografiere și în funcție de coordonatele centrelor de perspectivă

$$B = \sqrt{(X'_0 - X''_0)^2 + (Y'_0 - Y''_0)^2 + (Z'_0 - Z''_0)^2} \quad (4.20)$$

Coordonatele punctului P din teren în sistemul fotogrammetric al primei fotograme F' , cu originea în O' și O'' sînt

$$\left. \begin{aligned} X'_P &= X_P - X'_0 & X'_P - B_x &= X_P - X''_0 \\ Y'_P &= Y_P - Y'_0 & Y'_P - B_y &= Y_P - Y''_0 \\ Z'_P &= Z_P - Z'_0 & Z'_P - B_z &= Z_P - Z''_0 \end{aligned} \right\} \quad (4.21)$$

Ca și la punctul 4.2, $p'O'P$, respectiv $p''PO''$ sînt coliniare, fiind fiecare pe raze de proiecție corespondente, deci între coordonatele lor se pot scrie rapoartele simple

$$\frac{X'_p}{X''_p} = \frac{Y'_p}{Y''_p} = \frac{Z'_p}{Z''_p} = \mu' \quad (4.22)$$

X'_p , Y'_p și Z'_p — fiind coordonatele punctului p din fotografia F' în sistemul cu originea în O' , iar pentru fotografia F''

$$\frac{X'_p - B_x}{X''_p} = \frac{Y'_p - B_y}{Y''_p} = \frac{Z'_p - B_z}{Z''_p} = \mu'' \quad (4.23)$$

Din relațiile 4.22 și 4.23 rezultă

$$\left. \begin{aligned} X'_p &= \mu' X''_p = B_x + \mu'' X''_p \\ Y'_p &= \mu' Y''_p = B_y + \mu'' Y''_p \\ Z'_p &= \mu' Z''_p = B_z + \mu'' Z''_p \end{aligned} \right\} \quad (4.24)$$

și avînd în vedere relațiile 4.21 și 4.24, se pot scrie *ecuațiile de bază ale stereogramei*

$$\left. \begin{aligned} X_p &= X'_0 + \mu' X'_p \\ Y_p &= Y'_0 + \mu' Y'_p \\ Z_p &= Z'_0 + \mu' Z'_p \end{aligned} \right\} \quad (4.25)$$

în care coeficientul de scară μ' rezultă din relațiile 4.24

$$\mu' = \frac{Z''_p B_x - X''_p B_z}{Z''_p X'_p - X''_p Z'_p} \quad (4.26)$$

Coordonatele punctelor imagine, corespondente în cele două fotografii p' (X'_p , Y'_p , Z'_p) și p'' (X''_p , Y''_p , Z''_p) se pot stabili în funcție de coordonatele în sistemul fotogramelor p' (x'_p , y'_p , f), p'' (x''_p , y''_p , f) și de elementele unghiulare de orientare exterioară φ , ω , κ cu ecuațiile 4.10 și 4.11.

Măsurarea stereoscopică se poate efectua pe stereogramă prin măsurarea coordonatelor fotogrammetrice plane și a paralaxelor fiecărui punct reduse la origine (punctele principale H' și H'') și determinarea

cu ajutorul relațiilor 4.25 și 4.26, ca și a ecuațiilor de bază ale stereogra-
mei, deduse din relațiile menționate, pentru fotograme nadirale

$$X_P = B_x \frac{x'_p}{p_x}, \quad Y_P = B_x \frac{y'_p}{p_x} \text{ și } H_P = B_x \frac{f}{p_x} \quad (4.27)$$

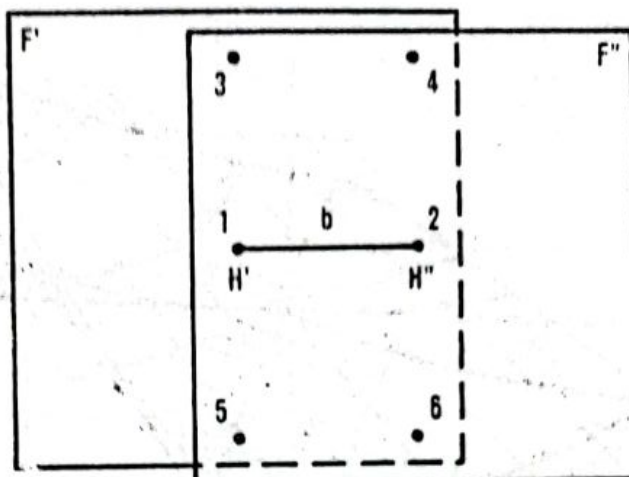
unde $p_x = x'_p - x''_p$ — este *paralaxa orizontală* și H_P — înălțimea de
aerofotografiere față de punctul P . Pe stereomodel se măsoară direct
coordonatele fotogrammetrice spațiale ale punctelor și se transformă în
coordonate geodezice.

Stereorestituția. Problema fundamentală a stereofotogrammetriei o
reprezintă realizarea riguroasă a modelului stereoscopic și orientarea
acestuia față de un sistem geodezic cunoscut, pentru a putea efectua
măsurătorile și interpretările dorite asupra unei suprafețe de teren „adu-
se” în acest fel în laborator. Aceasta se realizează prin *retrointersecția
dublă în spațiu*, reconstituind imaginea în relief a terenului cu ajutorul
a două imagini fotografice aeriene ale sale înregistrate în condiții pres-
tabilite.

Pentru obținerea stereomodelului orientat față de un sistem geode-
zic este necesar a utiliza un aparat de stereorestituție care posedă urmă-
toarele părți principale: două camere de proiecție în care se introduc
cele două fotograme conjugate (de obicei negative sau diapozitive),
respectiv două sisteme de iluminare a acestor imagini fotografice, un
sistem optic complex de observare a imaginii stereoscopice, dispozitive
care permit deplasarea liniară pe trei direcții și rotirea în trei sensuri a
fiecărei camere de proiecție, cât și a ambelor camere simultan, pentru a
se efectua orientarea exterioară, precum și un sistem de măsurare pe
imaginea stereoscopică, de transmitere și trasare automată la o masă
de desen. Toate deplasările liniare și unghiulare, ca și coordonatele spa-
țiale, se pot citi pe scări gradate și, în unele cazuri, se pot înregistra
grafic sau pe bandă perforată.

Procesul de stereorestituție analogică comportă următoarele faze:
orientarea interioară a fiecărei fotograme în camera de proiecție (constă
în centrarea fotogramei astfel ca punctul principal H să coincidă cu cen-
trul optic al camerei și introducerea distanței focale f a camerei foto-
aeriene cu care s-au preluat imaginile fotografice), *orientarea relativă*
a unei fotograme față de cealaltă pentru a reproduce riguros poziția lor
din momentul aerofotografierii (se realizează analogic prin eliminarea
paralaxelor verticale — diferențe transversale pe direcția de zbor, apă-
rute în modelul stereoscopic primar, între imaginile corespunzătoare
din cele două fotograme pentru un același punct — în șase puncte stan-
dard dispuse ca în figura 4.7, acționînd conform metodei stabilite de
Gruber); *orientarea absolută* a stereomodelului, orientat relativ, față
de un sistem geodezic de coordonate spațiale; *măsurarea stereomodelului*

Fig. 4.7. Dispunerea punctelor standard la orientarea relativă.



prin trasarea elementelor de planimetrie și a curbelor de nivel la scara necesară, sau prin înregistrarea coordonatelor spațiale (X, Y, Z). Se obține în acest fel, la un aparat de stereorestituție, produsul fotogrammetric numit *stereominută* — corespunzător originalului de teren ce se realizează cu mijloace topografice. În fotografia 4.9 este prezentat unul dintre numeroasele tipuri de aparate de stereorestituție analogică folosite de tehnica fotogrammetrică pentru întocmirea de planuri și hărți la diferite scări.

Triangulația aeriană. Ca urmare a orientării absolute a stereomodelului, pe acesta se pot efectua măsurători direct într-un sistem geodezic deoarece poziția arbitrară în spațiu și scara oarecare, în care s-a aflat după orientarea relativă, este corectată prin cele două operațiuni ale acestei faze: aducerea la scara necesară și orizontalizarea. Acestea se realizează cu ajutorul a patru puncte pentru fiecare stereogramă, determinate prin mijloace topografice, care au imagini corespondente pe fotograme. Triangulația aeriană (numită și *fototriangulație spațială* sau *aerotriangulație*) facilitează determinarea acestor puncte de sprijin cu mijloace fotogrammetrice de laborator; se execută aerotriangulație pe bandă de fotograme sau într-un bloc de mai multe benzi. Numărul de puncte de sprijin (reper fotogrammetrice) determinate la teren se reduce astfel considerabil: la capetele și la mijlocul benzii de fotograme în primul caz și la colțurile blocului de fotograme în al doilea.

În procesul de înlănțuire fotogrammetrică a fotogramelor unei benzi, prin determinarea coordonatelor fotogrammetrice ale reperelor necesare din întreaga bandă în sistemul primului stereomodel, stereomodelul general al benzii capătă unele erori având forma unui paraboloid hiperbolic (figura 4.8). Corectarea sa se obține prin compensarea grafică planimetrică și altitudinală (longitudinal, transversal, torsiune și curbura), sau cu ajutorul unor transformări prin calcul folosind calculatorul electronic.

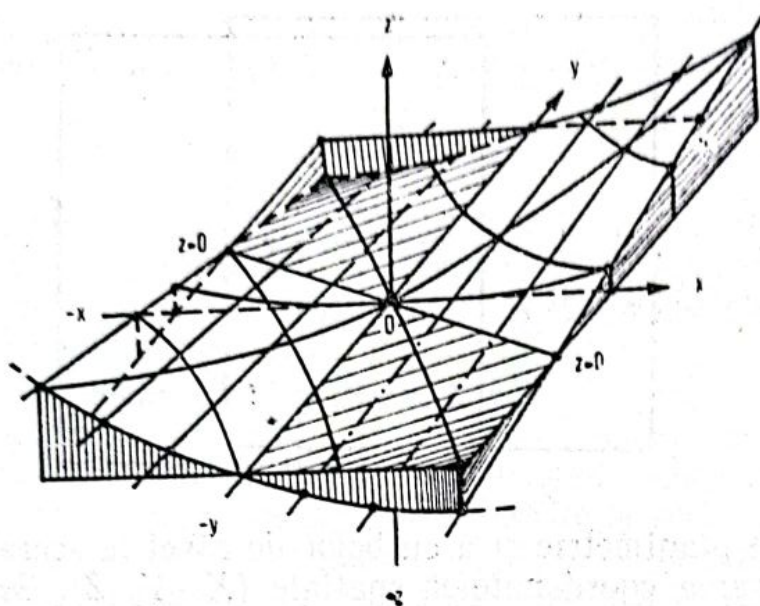


Fig. 4.8. Deformarea stereo-modelului.

4.4. EXPLOATAREA AUTOMATĂ A FOTOGRAAMELOR

Reconstituirea imaginii unei suprafețe terestre reduse la o anumită scară, efectuarea de determinări și măsurători pe aceasta cu ajutorul aparatelor fotogrammetrice sau stereofotogrammetrice, face posibilă cercetarea complexă a Pământului din spațiul aerian. Calitatea cercetărilor este condiționată de calitatea fotogramelor aeriene și a aparatelor, dar, într-o măsură importantă și de capacitatea de percepere vizuală și experiența specialistului, acesta introducând elemente subiective în cercetare. Pentru eliminarea acestor deficiențe au fost construite aparate fotogrammetrice care realizează complet automat stereorestituția. Un asemenea aparat automat de stereorestituție se prezintă în fotografia 4.10, din această categorie făcând parte stereomatul, aparatele analitice de restituție (analitical plotter) ș.a., aparate care de la an la an devin mai perfecționate, dar și mai greu accesibile datorită prețului ridicat.

Folosind mijloace electronice, fizice și matematice moderne pentru exploatarea conținutului informațional deosebit de bogat al fotografiilor aeriene, rolul specialistului care deservește asemenea aparate se reduce la introducerea datelor inițiale și controlul funcționării și a rezultatelor. Aceste aparate realizează automat măsurătorile fotogrammetrice, le prelucrează la un calculator electronic pe care-l posedă și le reprezintă numeric sau grafic tot automat.

Pentru că accesul la asemenea aparate este dificil în prezent, în mai multe țări (și în România) se obține cercetarea și exploatarea semi-

automată a fotogramelor prin: măsurători numerice la aparate de tipul stereocomparatoarelor (stecometre), prelucrări complexe în baza unor pachete de programe la calculatoare electronice și reprezentarea grafică la automate de desen.

4.5. ÎNREGISTRĂRI AERIENE NEFOTOGRAFICE

Dezvoltarea tehnicilor de teledetecție și aplicarea lor pentru cercetarea solului și subsolului din spațiul aerian, deocamdată la adâncime redusă, a permis obținerea de informații geografice și cartografice, geologice și hidrologice, pentru urmărirea mediului ambiant, agricultură, silvicultură ș.a. deosebit de utile. Dacă înregistrările fotografice se pot realiza doar ziua fără nori, cele în infraroșu se pot efectua și noaptea, iar cele cu radarul pot străbate și unele straturi de nori. Pentru sesizarea și înregistrarea acestor informații fără a veni în contact cu suprafața terestră, de la distanță (caracteristic teledetecției) se pot lua în considerare purtătorii de informații cu privire la această suprafață, câmpurile de forță (câmpul electromagnetic, gravitația și sunetul). Deoarece toate corpurile sau fenomenele aflate pe suprafața Pământului interacționează cu radiația electromagnetică prin fenomene de reflexie, refracție, absorbție și emisie, ele se descoperă singure cu condiția de a găsi mijlocul cel mai bun de a capta cele mai subtile radiații. Transmițând din spațiul aerian către suprafața terestră anumite radiații și înregistrând *răspunsul spectral*, în lungimi de undă cunoscute, se pot obține informații cu privire la forme, dimensiuni, stare, compoziție, temperatură și alte proprietăți specifice.

Prin folosirea radiației electromagnetice ca mijloc de comunicare între suprafața terestră și un sensor, nu neapărat fotografic, se obține o cale foarte rapidă de a afla informații despre planeta noastră și aceasta datorită interacțiunii existente în natură între materie și radiații. Ca urmare a acestei interacțiuni a radiațiilor electromagnetice cu o suprafață, primele pot prezenta o serie de modificări măsurabile cu privire la mărime, direcție, polarizare, lungime de undă și fază; dar mai exercită influențe compoziția suprafeței și proprietățile sale electrice, precum și caracteristicile mediului străbătut.

Energia radiată de către Soare reprezintă principala sursă de energie a scoarței terestre, deși s-a constatat prin măsurători că numai aproximativ 31% străbate direct limita superioară a atmosferei, iar cu restul se întâmplă astfel: 17% este absorbită de atmosferă, 30% este reflectată în spațiul cosmic din cauza norilor și a unor componente atmosferice și 22% este împrăștiată ca radiație difuză de către suprafața terestră. Echilibrul existent între energia recepționată, cea înmagazinată și cea

pierdută este exprimat prin bilanțul energetic (bugetul de energie) cuprins în relația complexă

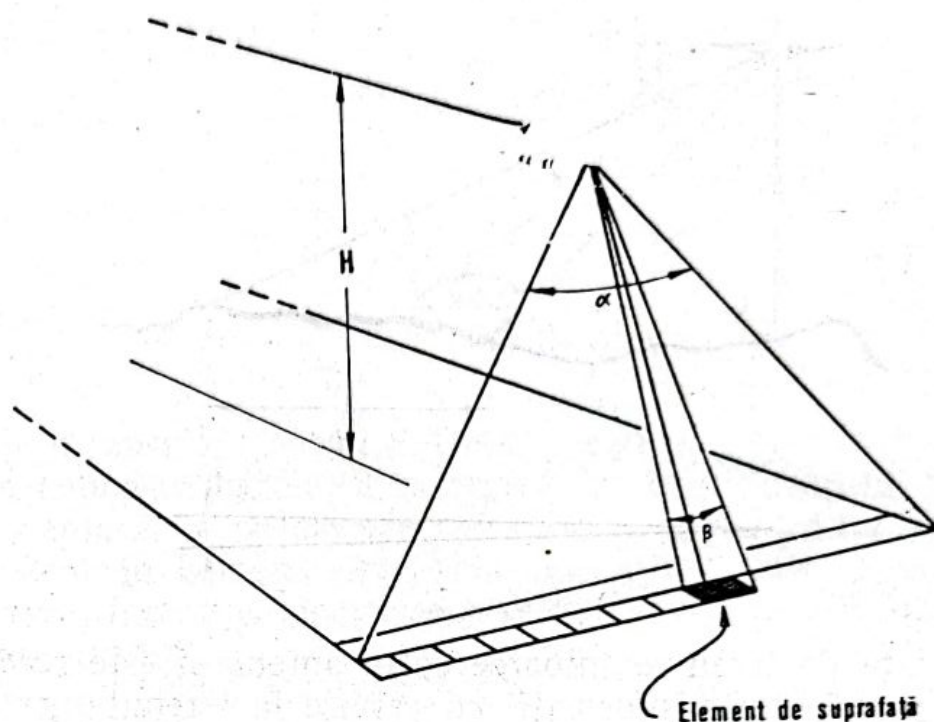
$$\begin{aligned}
 [R_e + S + A + V + F + M] + \left[\int_0^z C_a U (\rho_a v T) dz + \right. \\
 \left. + \int_0^z \frac{1}{R} \frac{E}{T} B U (ve) dz \right] + \left[\int_0^z C_e \rho_e \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) dz + \int_0^z C_a \rho_a \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) dz + \right. \\
 \left. + \int_0^z \frac{1}{R} \frac{E}{T} g \left(\frac{\partial e}{\partial t} \right) dz \right] = 0
 \end{aligned} \quad (4.28)$$

în care R_e — este radiația efectivă, S — radiația termică a solului, A — radiația termică a aerului, V — radiația necesară pentru evaporarea apei (evapotranspirație), F — radiația necesară pentru procesul de fotosinteză, M — radiația necesară pentru diferite transformări, C_a — căldura specifică a aerului, C_e — capacitatea termică a vegetației, E — căldura latentă de evaporare, B — radiația vaporilor de apă, $U = \frac{\partial}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial y}$, R — constanta universală a gazelor, T — temperatura, z — distanța în lungul traiectoriei, v — viteza vîntului, e — presiunea vaporilor de apă din aer, ρ_a — densitatea aerului, ρ_e — densitatea vegetației, g — raportul dintre greutatea moleculară a apei și a aerului. Primul termen reprezintă suma diferitelor radiații de pe suprafața terestră, al doilea exprimă divergența orizontală și al treilea, reprezintă înmagazinarea.

Teledetecția este definită de complexul activităților legate de perceperea de la distanță a informațiilor de către un sensor, de transformarea acestora în imagine fotografică convențională (analogică) sau în semnale (imagine digitală) și transmitere către memoria unui calculator, de prelucrarea, corectarea și transformarea, tot cu ajutorul instalațiilor electronice de calcul, în imagine vizuală convențională, selecționată sau clasificată, precum și de utilizarea acestora în diferite domenii de activitate. Fotogrammetria este un caz particular al teledetecției folosind, de obicei, numai înregistrări fotografice în zona vizibilă a spectrului electromagnetic.

Înregistrările de teledetecție se pot obține fie sub formă fotografică, fie sub formă de semnal electric care poate fi vizualizat direct ca imagine pe un display sau depozitat pe bandă magnetică și convertit imediat sau după prelucrare în imagine vizuală, eventual fotografică. Aceste înregistrări se pot efectua cu *sensori pasivi* (înregistrîndu-se energia naturală provenită de la suprafață: radiația solară, schimbări

Fig. 4.9. Înregistrarea aeriană prin baleiere.



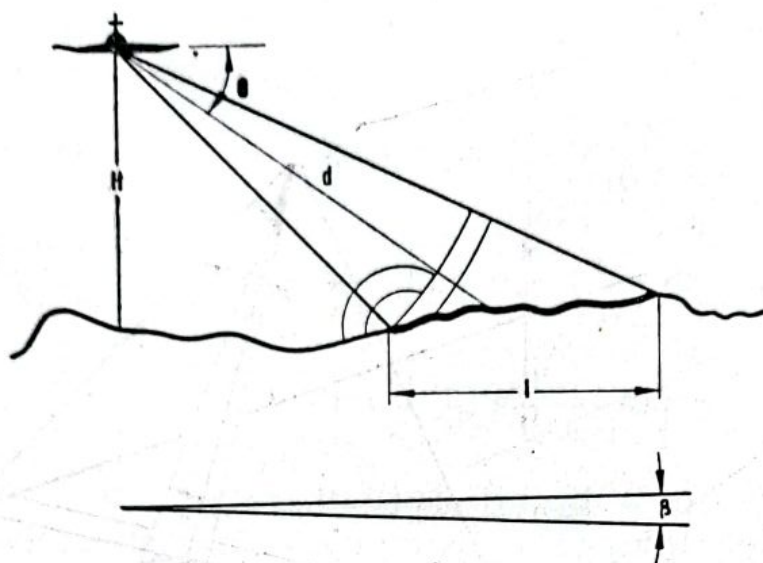
de temperatură) și cu *sensori activi* (transmițându-se impulsuri spre suprafață și înregistrându-se răspunsul acestora: radar, sonar).

Înregistrările aeriene nefotografice se referă la cele obținute cu senzori care nu produc direct o imagine fotografică pe un material sensibil, de exemplu: *radiometre* (pentru vizibil, infraroșu sau cu micro-unde) și *spectrometre*, *sisteme termovizion* și *camere de televiziune*, *sensori de baleiere optico-mecanică* și *sensori radar*.

Înregistrări prin baleiere. Aceste înregistrări se pot obține pentru domeniul infraroșu, ultraviolet sau pentru mai multe benzi spectrale înguste din vizibil și infraroșu spre exemplu, multispectrale. Principiul de înregistrare prin baleiere (figura 4.9) constă în: oglinda basculantă a unui sensor aflat pe un avion culege, prin baleierea perpendiculară pe direcția de zbor, elemente de suprafață pe care le transformă în elemente de imagine (pixeli) pe bandă magnetică, într-una sau mai multe benzi spectrale. Înregistrarea digitală pe bandă magnetică poate fi prelucrată la sol pe calculator ca atare (interpretată, clasificată), sau convertită în imagine fotografică convențională sau prelucrată. În fotografia 4.11 se prezintă un fragment de fotografie obținută astfel prin baleiere în infraroșul termic.

Înregistrări radar. Principiul de obținere a înregistrărilor cu un sensor radar rezultă din figura 4.10. Prin deplasarea avionului, un fascicul de unde electromagnetice fix emis cu ajutorul unei antene aflată în partea sa inferioară, mătură suprafața de teren, lateral, pe o fișie l paralelă cu direcția de zbor. După ce fluxul de radiații a întâlnit supra-

Fig. 4.10. Înregistrarea suprafeței terestre cu radarul lateral.



fața de teren se întoarce către antenă și este recepționat, dar este în posesia unor informații cu privire la terenul survolat. Fotografia 4.12 prezintă un fragment dintr-o înregistrare radar, transformată în imagine fotografică.

Înregistrările obținute cu sensori de baleiere sau sensori radar, deși încă nu asigură o rezoluție la teren corespunzătoare, sînt folosite cu mult succes în cadrul aplicațiilor de teledetecție aeriană cu privire la cercetarea resurselor terestre și urmărirea mediului înconjurător. Au fost realizați sensori de baleiere multispectrală cu 4, 11 și chiar 24 canale (benzi spectrale înguste) cuprinzînd domeniul vizibil și infra-roșul apropiat și termic, precum și sensori radar pentru diferite lungimi de undă, cu bandă dublă, sau radar cu laser (LIDAR). Este util a se menționa programul RADAM (Radar Amazon) care a realizat înregistrarea aeriană radar a întregului bazin hidrografic al Amazonului, cu rezultate deosebite.

Avantajul principal al înregistrărilor digitale multispectrale de teledetecție constă în faptul că volumul mare de informații poate fi prelucrat (clasificat, selecționat) pe calculator și apoi, convertit sau nu, în imagine fotografică. În fotografia 4.13 este prezentat rezultatul unei clasificări termice (folosirea terenului) cu ajutorul unor înregistrări aeriene cu un sensor multispectral de baleiere.

5 PROBLEMA HĂRȚII

Reprezentarea pe o suprafață plană a Terrei a apărut din necesitatea oamenilor de a cunoaște habitatul și regiunile înconjurătoare și de a se orienta în deplasările pe care le făceau în vederea procurării hranei. *Harta* a apărut în comuna primitivă sub forma unor desene simple, unele sugestive, figurarea elementelor sale de conținut evoluind odată cu dezvoltarea societății.

Baza matematică a hărților s-a introdus încă din antichitate când Eratostene (a se vedea punctul 1.1) a executat primele măsurători terestre care defineau forma și dimensiunile Pământului. Hiparh (c. 190—125 î.e.n.) a construit primul sistem de reprezentare plană (canevas conic) și a fixat punctele în canevass după coordonatele lor geografice, iar Ptolemeu, folosind rețeaua cartografică și pozițiile punctelor prin coordonate, a reușit să construiască un planisfer constituit din 26 hărți.

Cartografia, știința întocmirii și interpretării hărților de toate categoriile, după o perioadă de regres în timpul evului mediu, primește un nou impuls în perioada Renașterii când au loc progrese în navigație, în sfera descoperirilor geografice, a tiparului, a dezvoltării geografiei în general, perfecționându-se neînterupt pînă în zilele noastre.

Tehnica nouă cartografică permite astăzi ca într-un timp scurt, prin mijloace mecanice sau electronice, să se obțină hărți detaliate cu ajutorul fotografiilor aeriene sau cosmice, ale unor regiuni mari de pe suprafața Terrei sau Lunii ca și a altor corpuri din spațiul cosmic (a se vedea capitolele 8 și 10).

Problema de bază în întocmirea hărților o constituie *trecerea de la suprafața sferică la suprafața plană*, care, începînd din antichitate și pînă în prezent a evoluat paralel cu dezvoltarea matematicii și a mijloacelor tehnice de reprezentare. Redarea fidelă a suprafeței terestre se poate obține numai pe un glob geografic, unde lungimile și ariile Pământului sînt reduse la scara $\frac{r}{R}$ și $\frac{r^2}{R^2}$, r fiind raza globului geografic, iar R — raza sferei terestre. Astfel se păstrează nedeformate unghiurile, lungimile și ariile iar harta, ca redare pe un plan a detaliilor de pe o suprafață sferică, reprezintă o imagine deformată a Terrei.

5.1. DEFORMĂRILE REPREZENTĂRILOR ÎN PLAN

Deformările care intervin în trecerea de la suprafața sferică (sau elipsoidală) la suprafața plană sînt puse în evidență de *elipsa deformărilor*, sau indicatoarea lui Tissot, rezultată din proiectarea unui cerc foarte mic de pe sferă pe un plan. Două diametre perpendiculare ale cercului vor avea drept corespondente două diametre conjugate ale elipsei.

În figura 5.1, din triunghiurile VSO și $M'SO$, în care $OA = a$ și $OC = b$ sînt semiaxele elipsei, se pot scrie relațiile care dau deformările de unghiuri, suprafețe (arii) și lungimi (condițiile de a păstra nedeformate elementele de pe sferă cînd se reprezintă pe o suprafață plană).

Deformarea unghiurilor. Considerînd u unghiul real măsurat pe suprafața sferei (elipsoidului) și u' unghiul de reprezentare

$$\operatorname{tg} u' = \frac{M'S}{OS} \text{ și } \operatorname{tg} u = \frac{VS}{OS}$$

$$\frac{\operatorname{tg} u'}{\operatorname{tg} u} = \frac{M'S}{VS}$$

Dar, se vede că pentru aceeași abscisă raportul ordonatelor este egal cu raportul semiaxelor $\frac{b}{a}$, deci

$$\operatorname{tg} u' = \frac{b}{a} \operatorname{tg} u. \quad (5.1)$$

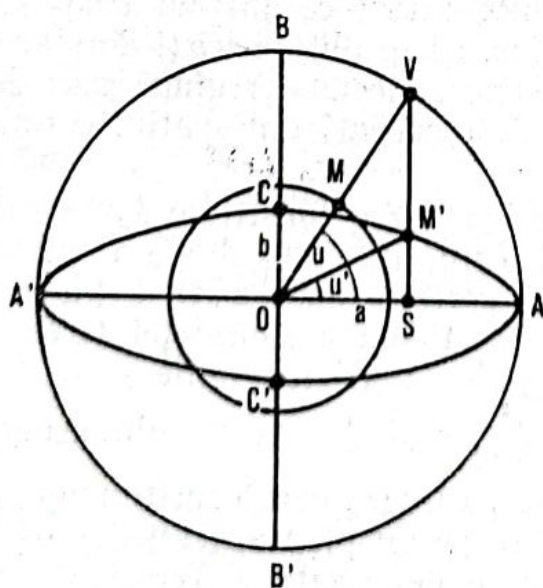


Fig. 5.1. Indicatoarea lui Tissot.

■ Pentru a păstra unghiurile nedeformate ($u' = u$), raportul $\frac{b}{a}$ trebuie să fie egal cu 1, deci $a = b$ (condiția păstrării unghiurilor sau condiția conformității).

Pentru a calcula deformarea unghiulară $\Delta u = u - u'$, formula 5.1 se transformă

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} u - \operatorname{tg} u' &= \operatorname{tg} u - \frac{b}{a} \operatorname{tg} u = \operatorname{tg} u \left(1 - \frac{b}{a}\right) \\ \operatorname{tg} u + \operatorname{tg} u' &= \operatorname{tg} u + \frac{b}{a} \operatorname{tg} u = \operatorname{tg} u \left(1 + \frac{b}{a}\right) \end{aligned} \right| \quad (5.2)$$

sau

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} u + \operatorname{tg} u' &= \frac{\sin(u + u')}{\cos u \cos u'} \\ \operatorname{tg} u - \operatorname{tg} u' &= \frac{\sin(u - u')}{\cos u \cos u'} \end{aligned} \right| \quad (5.3)$$

Înlocuind în 5.2

$$\left. \begin{aligned} \frac{\sin(u - u')}{\cos u \cos u'} &= \operatorname{tg} u \left(1 - \frac{b}{a}\right) \\ \frac{\sin(u + u')}{\cos u \cos u'} &= \operatorname{tg} u \left(1 + \frac{b}{a}\right) \end{aligned} \right| \quad (5.4)$$

Împărțind prima expresie la a doua, se obține

$$\frac{\sin(u - u')}{\sin(u + u')} = \frac{a - b}{a + b} \quad (5.5)$$

iar

$$\sin(u - u') = \frac{a - b}{a + b} \sin(u + u'). \quad (5.6)$$

Deformația maximă a unghiului u va fi atunci când $u + u' = 90^\circ$, deci $\sin(u + u') = 1$; atunci relația 5.6 devine

$$\sin(u - u') = \frac{a - b}{a + b} \quad (5.7)$$

și reprezintă deformarea unghiulară în trecerea de la suprafața sferică la cea plană.

Deformarea suprafețelor (arilor). Dacă se consideră aria cercului de bază de rază r , egală cu unitatea și aria elipsei indicatoare, condiția păstrării nedeformate a ariilor (condiția echivalenței) este

$$\pi r^2 = \pi ab \quad (5.8)$$

iar după simplificare, $ab = 1$.

Deformarea lungimilor. În aceleași triunghiuri din figura 5.1 se poate scrie

$$\cos u = \frac{OS}{a} \quad \sin u = \frac{VS}{a} = \frac{M'S}{b}$$

$$\cos u' = \frac{OS}{r} \quad \sin u' = \frac{M'S}{b}$$

$$a \cos u = r \cos u'$$

$$b \sin u = r \sin u'$$

și prin ridicarea la pătrat și adunare

$$a^2 \cos^2 u + b^2 \sin^2 u = r^2 (\cos^2 u' + \sin^2 u')$$

deci

$$a^2 \cos^2 u + b^2 \sin^2 u = 1. \quad (5.9)$$

Cunoscând că unghiul u variază între 0° și 90° , pentru direcțiile principale OA și OB (în sens ecuatorial și polar), condiția păstrării distanțelor nedeformate rezultă dând valori extreme unghiului u : pentru $u = 0^\circ$, $\cos 0^\circ = 1$ și $a = 1$, iar pentru $u = 90^\circ$, $\cos 90^\circ = 0$ și $b = 1$.

Pentru distanțele situate între direcțiile principale, inclusiv cele din lungul meridianelor și paralelelor, mărimea deformărilor (calculul scărilor particulare), se utilizează teoremele lui Apollonius din geometria analitică:

— suma pătratelor a două semidiametre conjugate ale elipsei este constantă și egală cu $a^2 + b^2$;

— aria triunghiului construit pe două semidiametre conjugate ale elipsei este constantă și egală cu aria triunghiului construit pe semi-axele ei.

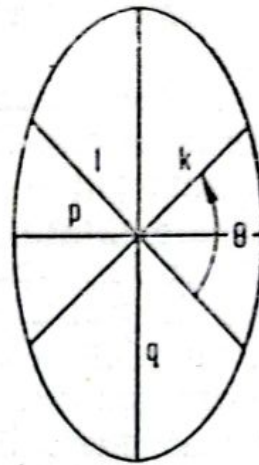
Din figura 5.2, se poate scrie, folosind teoremele lui Apollonius

$$\left. \begin{aligned} k^2 + l^2 &= p^2 + q^2 \\ \frac{kl}{2} \sin \theta &= \frac{pq}{2} \end{aligned} \right| \quad (5.10)$$

Considerând scărilor corespunzătoare la două direcții conjugate m și n și perechile de raze perpendiculare k, l și p, q ale cercului de rază r , se obține

$$k = mr, \quad l = nr, \quad p = ar \text{ și } q = br$$

Fig. 5.2. Teorema lui Apollonius.



substituind în 5.10

$$(mr)^2 + (nr)^2 = (ar)^2 + (br)^2$$

$$\frac{mnr^2}{2} \sin \theta = \frac{abr^2}{2} \quad (5.11)$$

și după simplificare, rezultă

$$m^2 + n^2 = a^2 + b^2$$

$$mn \sin \theta = ab \quad (5.12)$$

ceea ce arată că în fiecare punct al reprezentării, suma pătratelor scărilor pe două direcții conjugate este constantă și egală cu suma pătratelor scărilor pe direcțiile principale și produsul scărilor, prin sinusul unghiului dintre aceste direcții, este constant și egal cu produsul scărilor direcțiilor principale.

Deformările care apar în trecerea de la suprafața sferică la suprafața plană diferă de la un punct la altul, de aceea pe hărțile din diferite sisteme de reprezentare se trasează *liniile de egală deformare sau izocolele*, de diverse forme (cercuri, curbe, linii drepte). În funcție de aspectul izocolelor, se poate alege canevasul geografic în așa fel ca deformările să fie minime.

5.2. SISTEME DE REPREZENTARE PLANĂ

Sistemele de reprezentare, cunoscute și sub numele generic de *sisteme de proiecții* (primele rețele cartografice formate din meridiane și paralele s-au construit prin proiectarea punctelor de pe sferă pe plan), constituie baza matematică a hărților topografice și geografice.

Canevasul cartografic al unei hărți este alcătuit din totalitatea liniilor meridiane (arce de cercuri mari) și a liniilor paralele (arce de cercuri mici, cu excepția ecuatorului), obținute prin unirea a cel puțin două puncte de pe fiecare linie, ale căror coordonate se cunosc. Suprafețele de proiectare pot fi planul orizontal, conul, cilindrul, trunchiul de con, poliedrul ș.a, iar proiectarea se poate face într-o infinitate de moduri, în funcție de scopul urmărit (păstrarea unor elemente nedeforimate), de scara de proporție aleasă (dimensiunea teritoriului reprezentat), de forma suprafeței etc. Planul orizontal avînd un singur punct de tangență cu sfera, cu cît ne depărtăm de acel punct, cu atît deformările vor fi mai mari. În consecință, s-a făcut apel la corpuri geometrice ale căror linii de intersecție cu sfera se păstrează în mărime naturală pe toată întinderea lor. Principalele corpuri ale căror suprafețe desfășurabile se utilizează în mod curent în cartografie sînt conul și cilindrul. În funcție de suprafața de proiecție, se obțin deci canevasse conice (conul secționat în lungul unei generatoare dă un *sector circular*), canevasse cilindrice (prin secționare se obține un dreptunghi) și canevasse azimutale rezultate prin proiectarea suprafeței terestre pe un plan orizontal.

Considerînd un con tangent la sfera terestră (figura 5.3), în lungul paralelului de latitudine φ_0 , acesta apare în reprezentare un arc de cerc în mărime naturală. Pe măsură ce valoarea latitudinii scade, unghiul conului în reprezentare devine din ce în ce mai mic, astfel că pentru $\varphi_0 = 0^\circ$, generatoarele sînt tangente la ecuator, deci se obține o proiecție cilindrică; în cazul invers, cu cît valoarea latitudinii crește,

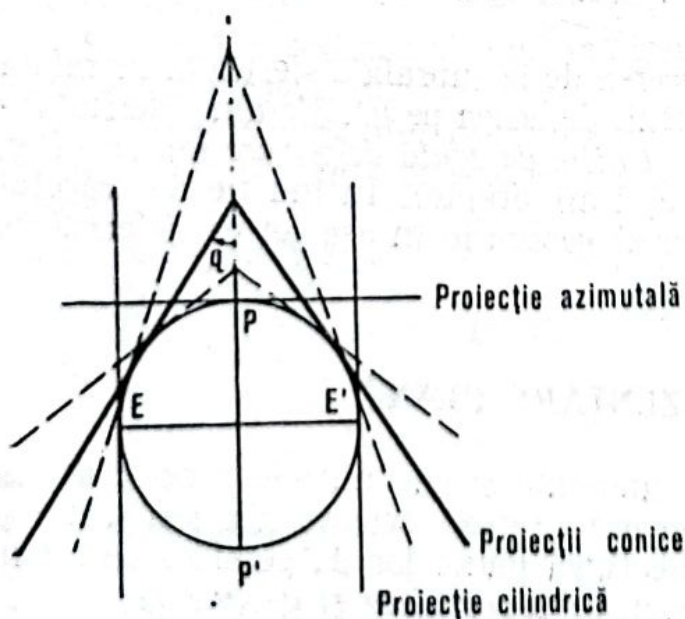


Fig. 5.3. Conul, planul și cilindrul față de sferă.

unghiul conului se mărește astfel că pentru $\varphi_0 = 90^\circ$, generatoarele conului ajungînd în prelungire, vîrfurile conului coincid cu polul terestru, obținîndu-se astfel o proiecție azimutală. Pentru $0^\circ < \varphi_0 < 90^\circ$ suprafața de proiecție este un sector circular care depinde de unghiul conului desfășurat. Rezultă că suprafața cilindrului și planul orizontal sînt cazuri limită ale suprafeței conice. Dacă axa conului coincide cu axa terestră, meridianele globului vor fi reprezentate printr-un fascicul de drepte concurente în vîrfurile conului, unghiul a două meridiane din proiecție $\gamma' = k\gamma$, unde γ — este unghiul pe sferă, iar k — constanta de proiecție care diferă de la un canevaz conic la altul, în funcție de valoarea sectorului circular. Paralelele sînt redată prin arce de cercuri concentrice limitate de laturile sectorului circular, cu centrul comun în punctul de convergență al meridianelor. Pentru $\varphi_0 = 0^\circ$, cilindrul desfășurat devine un dreptunghi cu lungimea egală cu cea a ecuatorului ($2\pi R$), unde meridianele sînt redată printr-un fascicul de drepte paralele perpendiculare pe ecuator, iar paralelele tot prin drepte, egale cu ecuatorul, perpendiculare pe meridianele. În sfîrșit, pentru $\varphi_0 = 90^\circ$, pe planul orizontal tangent în pol, meridianele vor fi redată prin drepte concurente în pol, iar paralelele prin cercuri concentrice, avînd centrul comun în polul terestru, care coincide cu polul canevazului (hărții). Această categorie de sisteme de proiecție în care axa terestră coincide cu axa conului și cilindrului sau este perpendiculară pe planul de proiecție se numesc *polare* (normale sau drepte). Întrucît, pe măsură ce ne depărtăm de liniile sau punctele de contact ale suprafețelor de proiecție cu sfera, izocolele au valori din ce în ce mai mari și pentru că nu întotdeauna pot fi cuprinse în reprezentare toate regiunile care interesează, în locul axei terestre în planul axial al conului și cilindrului sau perpendiculară pe planul orizontal, se alege un alt diametru al sferei, fie în planul ecuatorului (*sisteme ecuatoriale* sau *transversale*), fie făcînd un unghi oarecare cu axa terestră (*sisteme oblice*). Punctele de intersecție ale acestor diametre cu suprafața terestră — corespunzătoare polilor din proiecțiile polare — se numesc *puncte principale*. Cercurile mari — cercuri ale căror planuri trec prin centrul sferei — și care se întretaie în punctele principale se numesc *cercuri principale*, iar cercurile mici, cu centrul pe axa punctelor principale, *cercuri orizontale* (almucantarate). Fiecare sistem de proiecție (conic, cilindric și azimutal) în poziție polară, ecuatorială sau oblică, poate avea suprafața de proiecție tangentă sau secantă față de suprafața sferei. Cînd suprafața este secantă, se dublează liniile de contact ale conului și cilindrului cu sfera, păstrîndu-se nedeformate două paralele sau almucantarate. În tabelul 5.1 se prezintă sinoptic tipurile de sisteme de reprezentare, poziția față de axa terestră și elementele care se păstrează în trecerea de la sferă la plan.

Tipurile de sisteme de reprezentare (de proiecție)

Felul proiecției	Poziția	Tangenta	Axa	Cerc fundamental	Cercuri principale	Puncte principale
Conică	Polară (normală, dreaptă)	tg sec	Terestră	Un paralel Două paralele inegale	Meridianele	Polii terestri
	Ecuatorială (transversală)	tg sec	Un diametru ecuatorial	Un cerc orizontal cu centrul pe ecuator Două cercuri orizontale inegale	Cercuri principale care se taie în punctele principale	Puncte ale ecuatorului
	Oblică (orizontală)	tg sec	Un diametru oarecare	Un cerc orizontal oarecare Două cercuri orizontale inegale	Cercuri principale	Puncte oarecare
Azimutală	Polară (normală, dreaptă)	tg sec	Terestră	Un pol terestru Un paralel	Meridianele	Un pol terestru
	Ecuatorială (transversală)	tg sec	Un diametru ecuatorial	Un punct al ecuatorului Un cerc orizontal	Cercuri principale	Un punct al ecuatorului
	Oblică (orizontală)	tg sec	Un diametru oarecare	Un punct oarecare Un cerc orizontal	Cercuri principale	Un punct oarecare
Cilindrică	Polară (normală, dreaptă)	tg sec	Un diametru ecuatorial	Ecuatorul Două paralele simetrice	Meridianele	Polii terestri
	Ecuatorială (transversală)	tg sec	Un diametru ecuatorial	Un meridian Două cercuri orizontale egale	Cercuri principale	Puncte ale ecuatorului
	Oblică (orizontală)	tg sec	Un diametru oarecare	Un cerc mare Două cercuri orizontale egale	Cercuri principale	Puncte oarecare

5.3. PROIECȚII CONICE

După cum s-a văzut, proiecțiile conice polare (normale, drepte) au ca nevasul format din meridiane drepte convergente într-un punct care se intersectează sub unghiuri γ proporționale cu $\Delta\lambda$ a longitudinilor respective; paralelele sînt redată prin arce de cercuri concentrice cu centrul comun în vîrful conului. Ecuațiile proiecțiilor conice polare în funcție de coordonatele geografice φ și λ sînt

$$\left. \begin{aligned} \gamma' &= k\lambda \\ \rho &= f(\varphi) \end{aligned} \right| \quad (5.13)$$

unde γ' — este unghiul polar în reprezentare, ρ — raza vectoare (raza paralelului în proiecție) și k — constantă. Ca axă polară se consideră unul din meridiane, de obicei acel median de la care se măsoară longitudinile λ , iar ca pol, punctul de intersecție al meridianelor. Funcția f prin care se determină razele paralelelor în proiecție se stabilește după condițiile impuse reprezentării pentru a păstra unghiurile, ariile sau lungimile, ceea ce dă un alt criteriu de clasificare după elementele pe care le păstrează: conforme, echivalente și echidistante. Cînd se utilizează coordonatele rectangulare x, y , abscisa x coincide cu perpendiculara pe meridianul median (axial) iar ordonata y cu axa polară; originea sistemului de axe se consideră fie în polul coordonatelor polare V , fie la intersecția unui paralel cu axa ordonatelor O' . Din figura 5.4, se obține

$$\left. \begin{aligned} x &= \rho \sin \gamma' \\ y &= \rho \cos \gamma' \text{ sau } y = \rho_0 - \rho \cos \gamma' \end{aligned} \right| \quad (5.14)$$

unde ρ_0 — este raza în proiecție a paralelului cu latitudinea cea mai mică. Deformările la proiecțiile conice normale depind de latitudine, izocolele fiind locul geometric al punctelor egal distanțate de pol (cercurile paralele). Considerînd un con tangent la sferă la latitudinea φ_0 (figura 5.5) a paralelului AA' de rază r , prin desfășurare se obține un sector circular de unghi α a cărui valoare este dată de relația

$$\rho_0 \alpha = 2\pi r \quad (5.15)$$

dar $r = R \sin \delta_0$ și $\rho_0 = R \operatorname{tg} \delta_0$, δ_0 fiind colatitudinea (distanța polară) a paralelului considerat și ρ_0 — raza în proiecție a paralelului de tangență. Rezultă deci

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{2 \pi R \sin \delta_0}{R \operatorname{tg} \delta_0} \\ \alpha &= 2 \pi \cos \delta_0 = 2 \pi \sin \varphi_0 \end{aligned} \right| \quad (5.16)$$

Fig. 5.4. Coordonatele rectangulare ale unui punct din rețeaua cartografică conică.

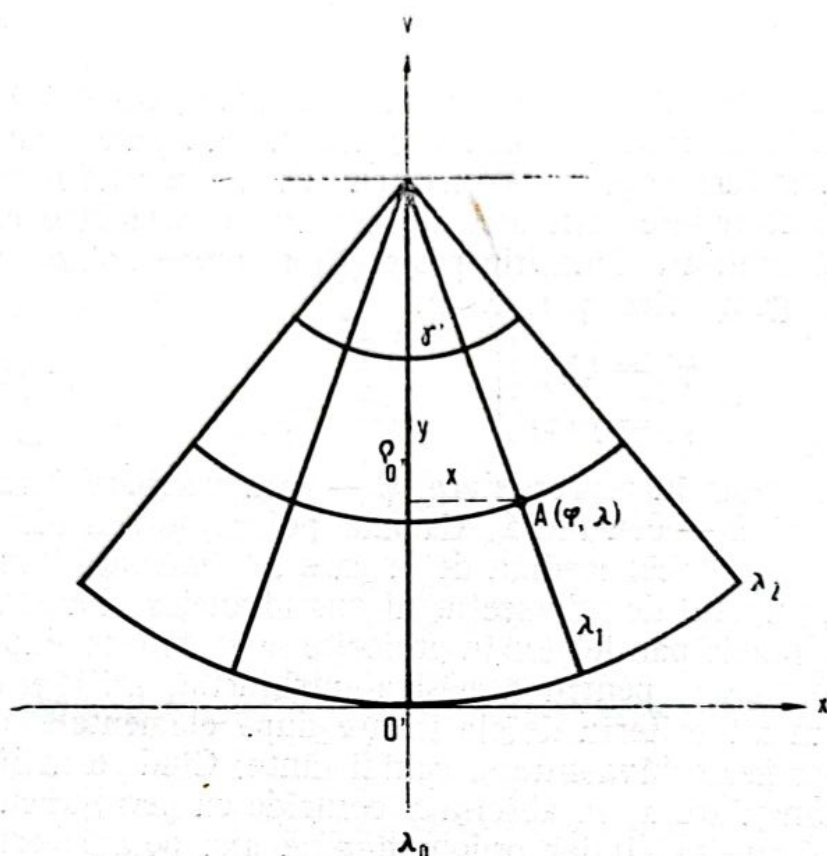
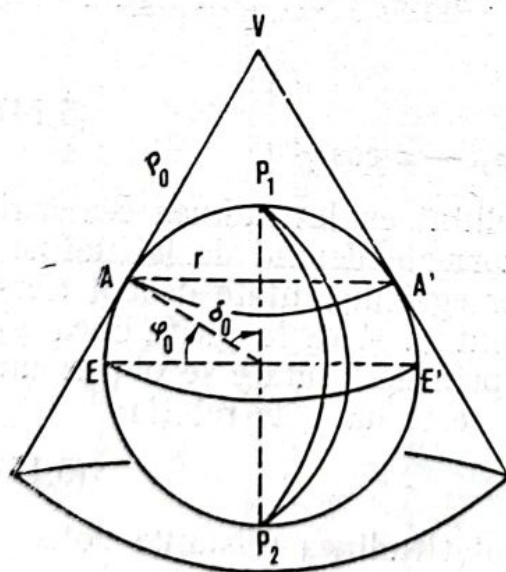


Fig. 5.5. Conul tangent la sferă în poziție polară.



Pentru conul tangent la sferă în poziție polară $k = \cos \delta_0 = \sin \varphi_0$ este constanta de proiecție care permite construcția meridianelor.

Proiecții conice echidistante pe meridian. Condiția păstrării nedeformate a distanțelor în sensul meridianelor se obține când se păstrează

în mărime naturală arcele de meridian, deci cînd distanțele dintre paralele în canevass sînt egale. Dacă se va lua paralelul de distanță polară δ_1 , distanța sa față de paralelul de tangență (paralelul median nedeformat) este arc $\delta_0 - \text{arc } \delta_1$ iar raza cercului care reprezintă paralelul de colatitudine δ_1 va fi

$$\rho_1 = R [\text{tg } \delta_0 - (\text{arc } \delta_0 - \text{arc } \delta_1)]$$

și dacă se înlocuiește arc $\delta_0 - \text{arc } \delta_1 = \text{arc } \omega$

$$\rho_1 = R (\text{tg } \delta_0 - \text{arc } \omega) \quad (5.17)$$

unde ω — este distanța unghiulară a paralelului reprezentat față de paralelul de tangență. Lungimea naturală a paralelului de distanță polară δ_1 fiind $2\pi R \sin \delta_1$, arcul de cerc din proiecție va fi

$$\rho_1 \alpha = 2 \pi R \cos \delta_0 (\text{tg } \delta_0 - \text{arc } \omega);$$

rezultă că scara pe acest paralel este

$$\frac{\cos \delta_0 (\text{tg } \delta_0 - \text{arc } \omega)}{\sin \delta_1}. \quad (5.18)$$

Pentru $\delta_0 = \delta_1$, $\omega = 0$; în acest caz scara devine

$$\frac{\cos \delta_0 \text{tg } \delta_0}{\sin \delta_0} = 1. \quad (5.19)$$

În canevassul conic echidistant pe meridian polul este reprezentat printr-un arc de cerc ca și celelalte paralele

$$\rho_p = R (\text{tg } \delta_p - \text{arc } \delta_p) = 0 \quad (5.20)$$

deoarece $\text{tg } \delta_p > \text{arc } \delta_p$.

Canevasul conic echidistant pe meridian (figura 5.6) cunoscut și sub numele de *canevasul Ptolemeu* se utilizează pentru construirea unor hărți chorografice (hărțile unor țări sau regiuni) sau la reprezentarea în atlase a unor țări de la latitudini medii cu condiția ca paralelul de tangență să fie ales la jumătatea teritoriului reprezentat pentru ca deformările, de o parte și de alta a paralelului de tangență, să fie minime.

Cînd conul este secant la sferă, acesta o interceptează după două paralele care se păstrează în mărime naturală, egale cu $2\pi R \sin \delta_1$ și $2\pi R \sin \delta_2$ unde δ_1 și δ_2 sînt colatitudinile celor două paralele de intersecție AA' și BB' (figura 5.7). Unghiul de desfășurare al conului, pentru condiția echidistanței, se calculează astfel

$$\begin{aligned} \rho_1 \alpha &= 2 \pi R \sin \delta_1 & \rho_1 &= R \text{arc } \delta_1 \\ \rho_2 \alpha &= 2 \pi R \sin \delta_2 & \rho_2 &= R \text{arc } \delta_2. \end{aligned}$$

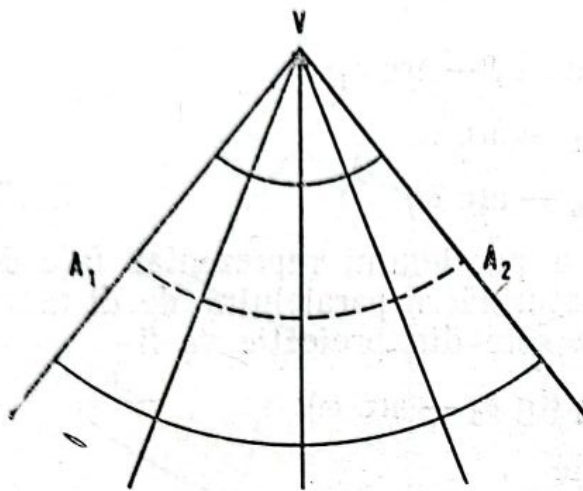


Fig. 5.6. Canevasul conic echidistant pe meridian.

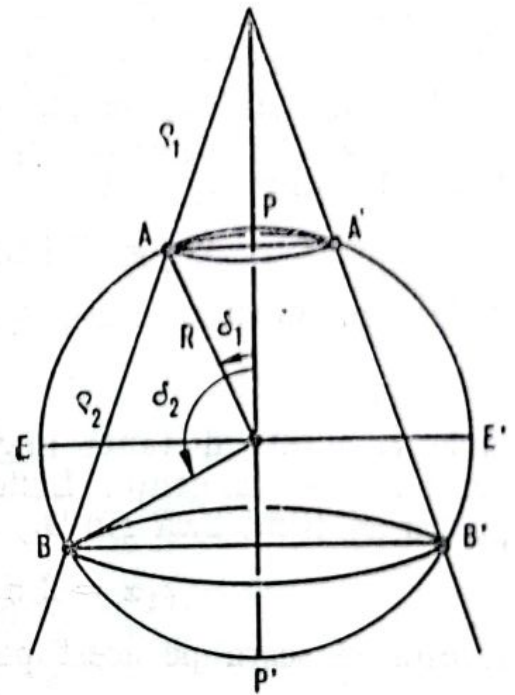


Fig. 5.7. Conul secant la sferă.

Scăzînd prima relație din a doua, se obține

$$\alpha (\rho_2 - \rho_1) = 2 \pi R (\sin \delta_2 - \sin \delta_1)$$

și înlocuind ρ_1 și ρ_2 rezultă

$$\alpha = 2 \pi \frac{\sin \delta_2 - \sin \delta_1}{\text{arc } \delta_2 - \text{arc } \delta_1} \quad (5.21)$$

în care

$$\frac{\sin \delta_2 - \sin \delta_1}{\text{arc } \delta_2 - \text{arc } \delta_1} = k.$$

Pentru construcția paralelelor, se consideră un paralel median situat la egală distanță de cele două paralele standard, avînd distanța polară δ_m și

$$\begin{aligned} \delta_1 &= \delta_m - \omega_m \\ \delta_2 &= \delta_m + \omega_m \\ 2\omega_m &= \delta_2 - \delta_1. \end{aligned} \quad (5.22)$$

În acest caz formula 5.21 devine

$$\alpha = 2 \pi \frac{\cos \delta_m \sin \omega_m}{\text{arc } \omega_m}. \quad (5.23)$$

Unghiul γ a două meridiane pe sferă se va micșora în reprezentare cu valoarea

$$\gamma' = \gamma \frac{\cos \delta_m \sin \omega_m}{\text{arc } \omega_m}. \quad (5.24)$$

Pentru un paralel oarecare de distanță polară δ și rază în proiecție ρ , plecând de la raza paralelului median ρ_m , determinată în funcție de raza unuia din paralelele de secanță ρ_2 , se obține succesiv

$$\begin{aligned} \rho_2 \alpha &= 2 \pi R \sin \delta_2 \\ \rho_2 &= \frac{2 \pi R \sin \delta_2}{\alpha} = \frac{R \sin \delta_2 \text{ arc } \omega_m}{\cos \delta_m \sin \omega_m} \end{aligned} \quad (5.25)$$

$$\rho_m = \rho_2 - R \text{ arc } \omega_m = \frac{R \sin \delta_2 \text{ arc } \omega_m}{\cos \delta_m \sin \omega_m} - R \text{ arc } \omega_m.$$

Înlocuind $\delta_2 = \delta_m + \omega_m$, rezultă

$$\rho_m = R \text{ arc } \omega_m \frac{\text{tg } \delta_m}{\text{tg } \omega_m}.$$

Un paralel oarecare, în funcție de paralelul median, va avea raza

$$\rho = \rho_m - R \text{ arc } \omega$$

unde $\omega = \delta_m - \delta$ și înlocuind se obține

$$\rho = R \left(\text{arc } \omega_m \frac{\text{tg } \delta_m}{\text{tg } \omega_m} - \text{arc } \omega \right). \quad (5.26)$$

Acest canevas, imaginat de astronomul francez de l'Isle, este utilizat și astăzi la construcția hărților unor țări cu extensiune longitudinală ca U.R.S.S., S.U.A., Canada, Australia etc. Pentru construcția unui canevas conic echidistant pe meridian cu două paralele standard, se determină inițial unghiul de desfășurare al conului

$$\alpha = 2 \pi \frac{\cos \delta_m \sin \omega_m}{\text{arc } \omega_m} \quad (5.27)$$

se calculează unghiul a două meridiane în proiecție

$$\gamma' = \gamma \frac{\cos \delta_m \sin \omega_m}{\text{arc } \omega_m} \quad (5.28)$$

și succesiv, razele paralelelor în proiecție în funcție de diferența de latitudine pe care dorim s-o imprimăm canevasului

$$\rho = R \left(\frac{\text{arc } \omega_m \text{ tg } \delta_m}{\text{tg } \omega_m} - \text{arc } \omega \right). \quad (5.29)$$

Proiecția pseudoconică echivalentă Bonne. Rețeaua cartografică este alcătuită din paralele arce de cercuri concentrice în mărime naturală, iar meridianele din curbe oarecare, cu excepția meridianului axial al canevasului. Pentru construirea acestui sistem, paralelele se trasează după legea razelor proiecției Ptolemeu

$$\rho = \rho_0 - R \operatorname{arc} (\delta_0 - \delta). \quad (5.30)$$

Meridianele se obțin prin divizarea fiecărui paralel în părți egale în funcție de diferența de longitudine $\Delta\lambda$ cerută. În realitate, paralelele fiind cercuri de rază r , lungimea lor va fi

$$2\pi r = 2\pi R \cos \varphi. \quad (5.31)$$

Arcele de paralel egale l_p se obțin prin împărțirea arcelor de cercuri paralele folosind relația

$$l_p = \frac{2\pi R \cos \varphi}{n} \quad (5.32)$$

unde $n = \frac{360^\circ}{\Delta\lambda}$.

Prin unirea punctelor corespunzătoare de pe fiecare paralel se pot trasa meridianele. Echivalența se asigură prin păstrarea nedeformată a arcului de paralel și a curbei meridianale în fiecare ochi al rețelei cartografice.

Canevasul Bonne (figura 5.8), fiind echivalent, se utilizează la hărțile cadastrale urbane și rurale, precum și la hărțile murale și din atlase când se cere condiția păstrării ariilor. Canevasul pseudoconic Bonne a fost folosit pentru construcția hărții topografice a țării noastre pînă la primul război mondial.

Proiecții conice ecuatoriale și oblice. Pentru țările cu extensiune teritorială pe direcția N—S sau altă direcție, cu excepția celor alungite E—V, se alege un canevas conic în poziție ecuatorială sau oblică, cu

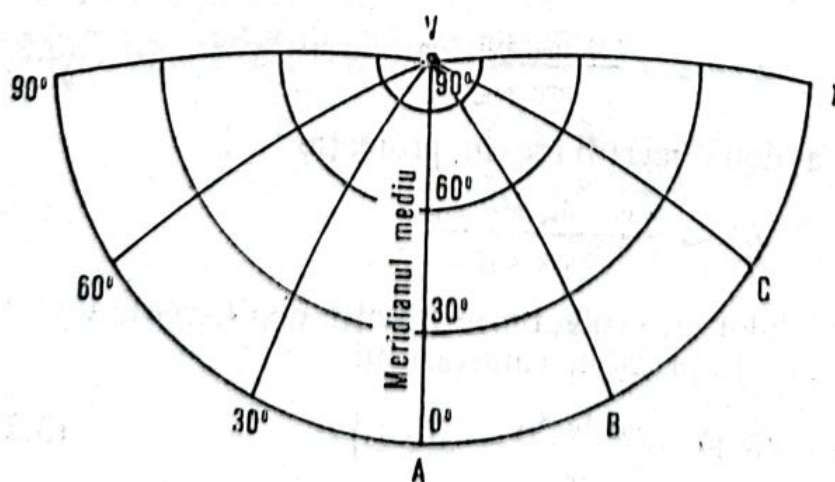


Fig. 5.8. Canevasul pseudoconic Bonne.

unul sau două paralele de intersecție. Centrul hărții va fi în punctul unde axa conului intersectează sfera terestră. Liniile de intersecție vor fi cercuri mici care se păstrează nedeformate ca și elementele impuse inițial să fie păstrate în reprezentare (distanțele, ariile sau unghiurile). Plecând din polul hărții, se construiesc meridianele și paralelele care sînt redade prin linii curbe.

5.4. PROIECȚII AZIMUTALE

Reprezentările suprafeței terestre pe un plan orizontal, tangent sau secant la sferă, se numesc proiecții azimutale; se împart în perspective și neperspective, polare, ecuatoriale și oblice. *Canevasele azimutale perspective* se obțin prin proiectarea meridianelor și paralelelor de pe sfera terestră pe un plan orizontal, folosind un punct de vedere situat între infinit și interiorul sferei. În figura 5.9, punctul B al paralelului AB

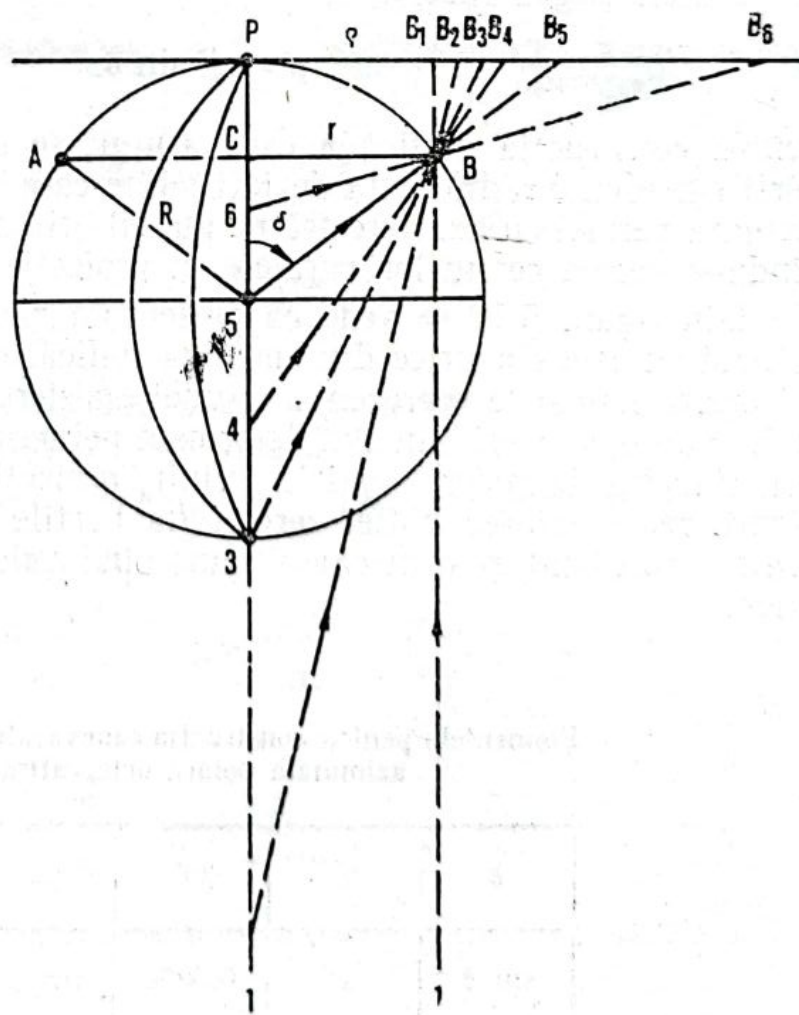


Fig. 5.9. Diferite puncte de vedere în proiectarea azimutală.

de distanță polară δ , este proiectat paralel în B_1 (proiecție ortografică), în B_2 exterioară, B_3 stereografică, B_4 și B_6 interioară și B_5 centrală. Proiecțiile se pot efectua și din afara axei terestre sau a prelungirii acesteia, exterior sau interior. Considerînd din toate aceste cazuri pozițiile caracteristice 1, 3 și 5, vom obține în reprezentare canevas ortografice, stereografice și centrale, după cum punctul de vedere se află la infinit, în polul opus planului de proiecție și în centrul sferei. La toate proiecțiile azimutale în poziție polară meridianele sînt redată printr-un fascicul de drepte concurente în pol, iar paralelele prin cercuri concentrice cu centrul în pol, ale căror raze ρ sînt funcții de latitudine

$$\left. \begin{aligned} \rho &= f(\varphi^\circ) = f(\delta^\circ) \\ \delta^\circ &= 90^\circ - \varphi^\circ. \end{aligned} \right| \quad (5.33)$$

Proiecția azimutală polară ortografică. Proiectantele fiind paralele cu axa terestră (punctul de vedere la infinit), razele paralelelor în proiecție vor fi egale cu cele din natură, deci canevasul va fi echidistant pe paralel. Legea razelor va fi

$$\rho = R \sin \delta. \quad (5.34)$$

Pentru construcția grafică a canevasului, se divide un arc de 90° în părți egale cu $\Delta\varphi$, diferența de latitudine care se cere. Punctele se proiectează paralel cu axa terestră pe planul orizontal tangent în pol, obținîndu-se razele cercurilor paralele în proiecție, avînd ca centru polul.

Din figura 5.10 se vede că proiecțiile paralelelor de 30° și 60° N coincid cu cele simetrice din emisfera sudică, de aceea acest canevas se utilizează numai la reprezentarea unei emisfere. Suprafețele, unghiurile și distanțele pe meridian sînt deformată pe măsură ce ne depărtăm de pol. Punctul de vedere fiind la infinit, proiecțiile ortografice sînt bune pentru reprezentarea boltei cerești (la hărțile astronomice). Canevasul poate fi construit și prin calcul cunoscînd valorile $\sin \delta$ ale colatitudinilor.

Tabelul 5.2

Elementele pentru construcția canevasului în proiecția azimutală polară ortografică

δ	0°	30°	60°	90°
$\sin \delta$	0°	0,5000	0,8660	1,0000

și înlocuind

$$B'D' = \frac{BD}{\cos^2 \frac{\delta}{2}}. \quad (5.36)$$

Considerînd arcul de cerc BD egal cu $1'$, lungimea acestuia va fi

$$\frac{2 \pi R}{360 \cdot 60} \text{ deci}$$

$$B'D' = \frac{2 \pi R}{360 \cdot 60 \cdot \cos^2 \frac{\delta}{2}}. \quad (5.37)$$

Arcul $B'C'$ al cercului de distanță polară δ va fi

$$B'C' = \frac{2 \pi R \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}}{360 \cdot 60} \quad (5.38)$$

dar $\operatorname{tg} C' = \frac{B'D'}{B'C'}$ și înlocuind relațiile 5.37 și 5.38

$$\operatorname{tg} C' = \frac{1}{2 \cos^2 \frac{\delta}{2} \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}} = \frac{1}{2 \cos \frac{\delta}{2} \sin \frac{\delta}{2}} \\ \operatorname{tg} C' = \frac{1}{\sin \delta}. \quad (5.39)$$

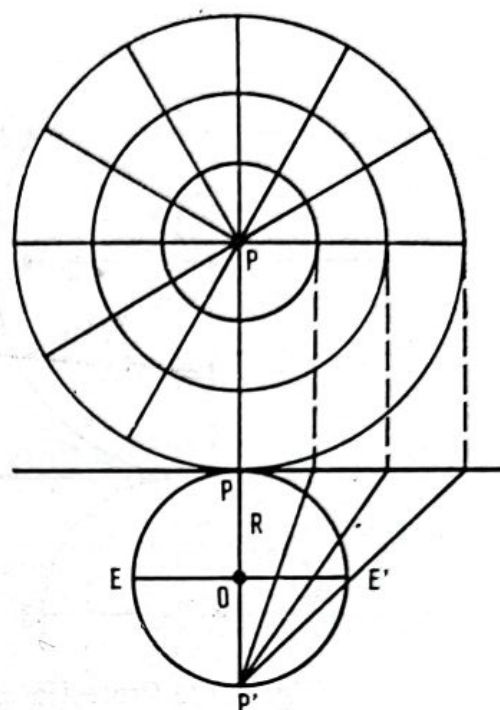
Cunoscînd că și $\operatorname{tg} \hat{C} = \frac{1}{\sin \delta}$, se constată egalitatea celor două unghiuri $C = C'$, deci canevasul stereografic este conform. Construcția grafică a canevasului azimutal stereografic se obține conform figurii 5.12. Un sector de 90° al cercului de bază se împarte în $\Delta\varphi^\circ$, punctele obținute fiind proiectate pe planul tangent, iar razele paralelelor în proiecție se construiesc cu centrul comun în pol. Unghiul a două meridiane din proiecție este egal cu cel de pe sferă.

Tabelul 5.3

Razele paralelelor canevasului în proiecția azimutală polară stereografică ($\Delta\varphi = 10^\circ$)

δ°	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$2 \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}$	0	0,1750	0,3526	0,5358	0,7280	0,9326	1,1548	1,4004	1,6782	2,0000

Fig. 5.12. Proiecția azimutală stereografică.



Proiecția azimutală perspectivă centrală. Considerînd punctul de vedere în centrul sferei, paralelele vor fi proiectate pe planul tangent în pol, cu raze din ce în ce mai mari, în funcție de colatitudine, astfel că pentru ecuator, unde $\delta = 90^\circ$, proiectanta devine paralelă cu planul orizontal de proiecție. Planul unui cerc mare al sferei terestre care conține punctul de vedere, este reprezentat pe planul de proiecție printr-o dreaptă; însă arcul de cerc mare limitat de două puncte pe sferă este *ortodroma*, drumul cel mai scurt pe sferă între cele două puncte. De aceea, acest canevas se numește și *ortodromic* sau *gnomonic*. Legea razelor este dată (figura 5.13 a) de relația:

$$\rho = R \operatorname{tg} \delta.$$

În figura 5.13 b, arcul AB este ortodroma limitată de punctele A și B , de coordonate geografice cunoscute $A (\delta_A, \lambda_A)$ și $B (\delta_B, \lambda_B)$. Din triunghiul sferic PAB se obține

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{\alpha + \beta}{2} &= \frac{\cos \frac{\delta_B - \delta_A}{2}}{\cos \frac{\delta_B + \delta_A}{2}} \cotg \frac{\lambda_B - \lambda_A}{2} \\ \operatorname{tg} \frac{\alpha - \beta}{2} &= \frac{\sin \frac{\delta_B - \delta_A}{2}}{\sin \frac{\delta_B + \delta_A}{2}} \cotg \frac{\lambda_B - \lambda_A}{2}. \end{aligned} \quad (5.40)$$

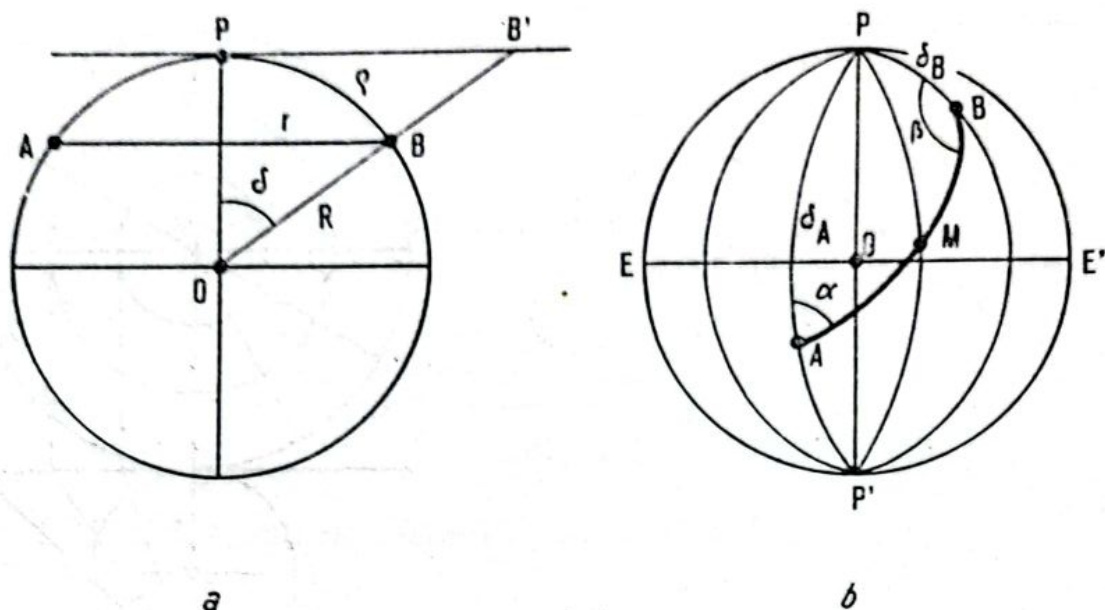


Fig. 5.13. Proiecția azimutală centrală (a) și ortodroma (b).

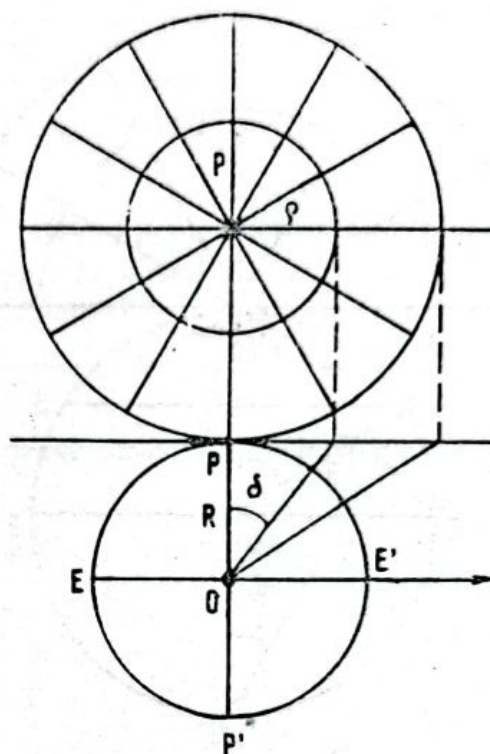
Din sistemul de ecuații de mai sus, se poate calcula $\alpha + \beta$ și $\alpha - \beta$ deci valorile celor două unghiuri sferice din A și B .

Dacă se cere poziția unui punct M situat pe ortodromă, la intersecția acestuia cu meridianul care trece prin punctul dat, este necesar să aflăm δ_M , distanța polară a punctului considerat. Notînd cu d arcul de ortodromă AM și cu $\lambda_M - \lambda_A$, diferența de longitudine dintre cele două meridiane se obține (folosind analogiile lui Napier)

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \frac{\delta_M + d}{2} &= \frac{\cos \frac{1}{2} [\alpha - (\lambda_M - \lambda_A)]}{\cos \frac{1}{2} [\alpha + (\lambda_M - \lambda_A)]} \operatorname{tg} \frac{\delta_A}{2} \\ \operatorname{tg} \frac{\delta_M - d}{2} &= \frac{\sin \frac{1}{2} [\alpha - (\lambda_M - \lambda_A)]}{\sin \frac{1}{2} [\alpha + (\lambda_M - \lambda_A)]} \operatorname{tg} \frac{\delta_A}{2} \end{aligned} \right| \quad (5.41)$$

Cele două relații permit determinarea colatitudinii δ_M a punctului M . Pentru construcția grafică a unui canevaz ortodromic, se consideră un cerc de bază de rază R unde, pe un cerc de 90° , se determină punctele distanțate la $\Delta\varphi$. Din centrul cercului, se proiectează fiecare punct

Fig. 5.14. Proiecția azimutală perspectivă centrală (gnomonică).



pe planul tangent în pol, obținându-se razele paralelelor în proiecție, ale căror valori cresc din ce în ce mai mult astfel că ecuatorul nu poate fi redat în reprezentare, deci $\rho = \infty$ (figura 5.14).

Tabelul 5.4

Razele paralelelor canevasului limitat de tropic în proiecția azimutală perspectivă centrală ($\Delta\varphi = 10^\circ$, $R = 1$)

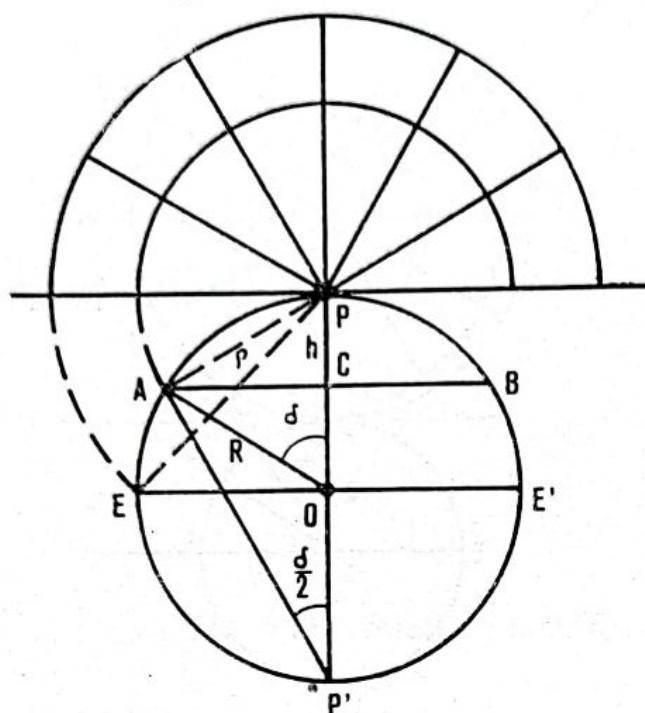
δ°	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	$66^\circ 33'$ (tropic)
$\text{tg } \delta$	0	0,1763	0,3640	0,5774	0,8391	1,1918	1,7321	2,3099

Canevase azimutale neperspectice polare. Când se cere condiția păstrării în reprezentare a unui anumit element care nu se poate obține prin proiectare, ca la canevasele perspective, pentru determinarea razelor paralelelor în proiecție se face apel fie la construcții geometrice, fie la calcule. Astfel, păstrarea ariilor în reprezentare reclamă condiția ca suprafața calotei sferice limitată de paralelul AB , de înălțime h , să fie egală cu aria cercului de rază ρ . Din figura 5.15 se poate scrie

$$\overline{AP}^2 = \overline{PP} \cdot \overline{PC}$$

$$\rho^2 = 2R \cdot h \quad (5.42)$$

Fig. 5.15. Canevasul azimutal neperspectiv polar Lambert.



dar $\pi \rho^2 = 2\pi R h$, de unde rezultă egalitatea celor două arii. Raza ρ a unui paralel oarecare în reprezentare se determină din triunghiul dreptunghic PAP'

$$\rho = 2 R \sin \frac{\delta}{2}. \quad (5.43)$$

Acest canevas care poartă numele matematicianului Lambert este utilizat la reprezentarea emisferelor (nordică și sudică) atunci când se urmărește păstrarea ariilor continentelor și oceanelor.

Tabelul 5.5

Razele paralelelor canevasului în proiecția azimutală neperspectivă polară
($\Delta\varphi = 10^\circ$, $R = 1$)

δ°	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$2 \sin \frac{\delta}{2}$	0	0,1643	0,3473	0,5176	0,6840	0,8452	1,0000	1,1472	1,2856	1,4142

Meridianele se construiesc din pol, $\Delta\lambda$ din reprezentare fiind egal cu cel din natură, ca și la celelalte proiecții azimutale.

Canevasul azimutal neperspectiv Postelius. În condițiile păstrării nedeformate a arcelor de meridiane dintre pol și ecuator, razele paralelelor în proiecție vor fi date de lungimea arcelor de meridian, măsurate de la pol pînă la fiecare paralel de reprezentat

$$\rho = R \operatorname{arc} \delta. \quad (5.44)$$

Paralelele vor fi deformate, avînd scara $\frac{\operatorname{arc} \delta}{\sin \delta}$ știind că $r = R \sin \delta$.

Tabelul 5.6

Elementele canevasului în proiecția azimutală neperspectivă Postelius ($\Delta\varphi = 1^\circ$, $R = 1$)

δ°	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
$\operatorname{arc} \delta$	0	$\frac{\pi}{12}$	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{5\pi}{12}$	$\frac{\pi}{2}$

Paralelele vor fi trasate ca cercuri la distanțe egale, deci canevasul va fi echidistant pe meridian, iar meridianele ca drepte concurente în pol.

Canevasul azimutal neperspectiv intermediar. Pentru atenuarea deformărilor unghiulare ale canevasului azimutal echivalent Lambert și a deformărilor areale ale proiecției azimutale conforme stereografice, s-a imaginat canevasul cu razele paralelelor în proiecție mai mici ca razele paralelelor în proiecția stereografică și mai mari ca razele în reprezentare ale canevasului echivalent. Un exemplu în această privință îl oferă canevasul azimutal echidistant pe meridian Postelius unde

$$2 R \sin \frac{\delta}{2} < R \operatorname{arc} \delta < 2 R \operatorname{tg} \frac{\delta}{2}. \quad (5.45)$$

Un alt exemplu îl constituie canevasul în care valorile razelor în proiecție sînt date de mediile geometrice ale razelor proiecțiilor conforme și echivalente. În figura 5.16

$$\rho_O = 2 R \operatorname{tg} \frac{\delta}{2} \quad \text{și} \quad \rho_E = 2 R \sin \frac{\delta}{2}$$

de unde

$$\rho_I = 2 R \sqrt{\operatorname{tg} \frac{\delta}{2} \sin \frac{\delta}{2}}. \quad (5.46)$$

γ_1 și γ_2 , care reprezintă diferențele de longitudine în mărime naturală. Punctele de intersecție ale laturilor necomune ale unghiurilor γ_1 și γ_2 cu orizontala tangentă la cercul de bază în punctul S' , sînt centrele cercurilor meridiane C_1 , C_2 , C_3 etc. care se trasează în limita cercului periferic al proiecției.

Proiecția azimutală stereografică oblică, însă în plan secant, a fost folosită și la harta topografică a țării noastre între anii 1933—1951 cînd a fost înlocuită cu canevasul cilindric ecuatorial Gauss-Krüger. Cunoscut sub numele de *sistemul stereografic român*, el a fost ales ținînd seama de configurația regiunii cartografiate (forma relativ circulară a teritoriului țării noastre și dimensiunile relativ reduse). Fiind un canevas conform, toate direcțiile care pleacă din punctul central se păstrează nedeformate în reprezentare, punctul central fiind ales teoretic la aproximativ 30 km nord de Brașov, în apropierea localității Feldioara, avînd coordonatele rectangulare convenționale: $X = 500,000$ km și $Y = 500,000$ km, iar coordonatele geografice $\lambda = 28^{\circ}21'38''$,51 și $\varphi = 51^{\circ}00'00''$.

Cercul orizontal de intersecție a planului cu sfera are raza egală cu 232,378 km, reprezentînd și linia de deformare nulă. De o parte și de alta a acestei linii se pot trasa izocolele care reprezintă deformările negative în interiorul cercului de intersecție și pozitive în afara acestuia. Deformarea liniară în punctul central era de $-0,332$ m/km, iar la extremități de $+0,554$ m/km. Planul secant se află la 4 234 m de planul tangent. Deformările de distanțe sînt mai mici în cazul proiecției pe planul secant la sferă.

Pentru a fi utilizată în diferite domenii de activitate, înlăturînd deficiențele pe care le produce proiecția Gauss-Krüger pe suprafața teritoriului patriei noastre, a fost elaborată *proiecția azimutală perspectivă conformă stereografică 1970* cu plan secant. Această proiecție, destinată în special hărților topografice și cadastrale la scări mari, este utilizată în paralel cu proiecția Gauss-Krüger folosită la întocmirea hărților topografice de bază la scările 1 : 25 000 și mai mici.

Se folosește același elipsoid Krasovski (a se vedea punctul 1.2), punctul central al proiecției avînd coordonatele geografice $\lambda = 25^{\circ}$ și $\varphi = 46^{\circ}$, raza cercului de deformare nulă este de 201,718 km, deformarea liniară în punctul central este de $-0,250$ m/km, iar la extremitățile țării $+0,215$ m/km, axele de coordonate sînt orientate ca la proiecția Gauss-Krüger (axa X către nord), împărțirea foilor de hartă și nomenclatura de asemenea (figura 5.19).

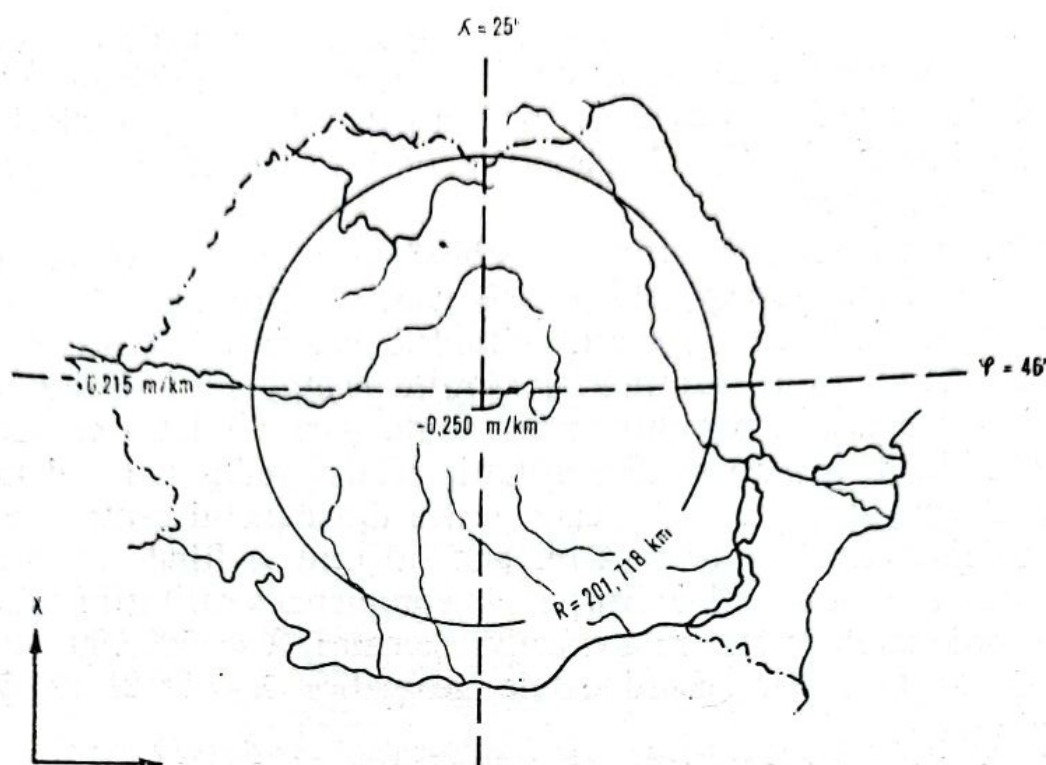


Fig. 5.19. Cercul de deformare nulă în proiecția stereografică 1970 cu plan secant, folosită în prezent în România.

5.5. PROIECȚII CILINDRICE

Prin proiectarea punctelor de pe sfera terestră pe un cilindru și desfășurarea acestuia în lungul unei generatoare se obține un canevaz cilindric; în funcție de poziția axei cilindrului față de sferă canevazul poate fi polar, ecuatorial și oblic. De asemenea, cilindrul poate fi tangent sau secant la sferă, când, în primul caz se păstrează nedeformat ecuatorul iar în al doilea două paralele simetrice față de ecuator. În proiecțiile cilindrice polare, meridianele apar în canevaz ca drepte paralele (generatoare ale cilindrului) perpendiculare pe cercul sau cercurile de intersecție ale cilindrului cu sfera, iar paralelele sînt reprezentate de asemenea prin drepte paralele, avînd aceeași lungime, perpendiculare pe meridianele.

Proiecțiile cilindrice polare echidistante pe meridian. Acestea pot fi tangente sau secante la sferă. În primul caz cercul de intersecție al cilindrului cu sfera este ecuatorul, de lungime $2\pi R$. Prin împărțirea grafică a ecuatorului în diviziuni egale în funcție de diferența de longitudine cerută și trasarea paralelelor la generatoarea cilindrului se ob-

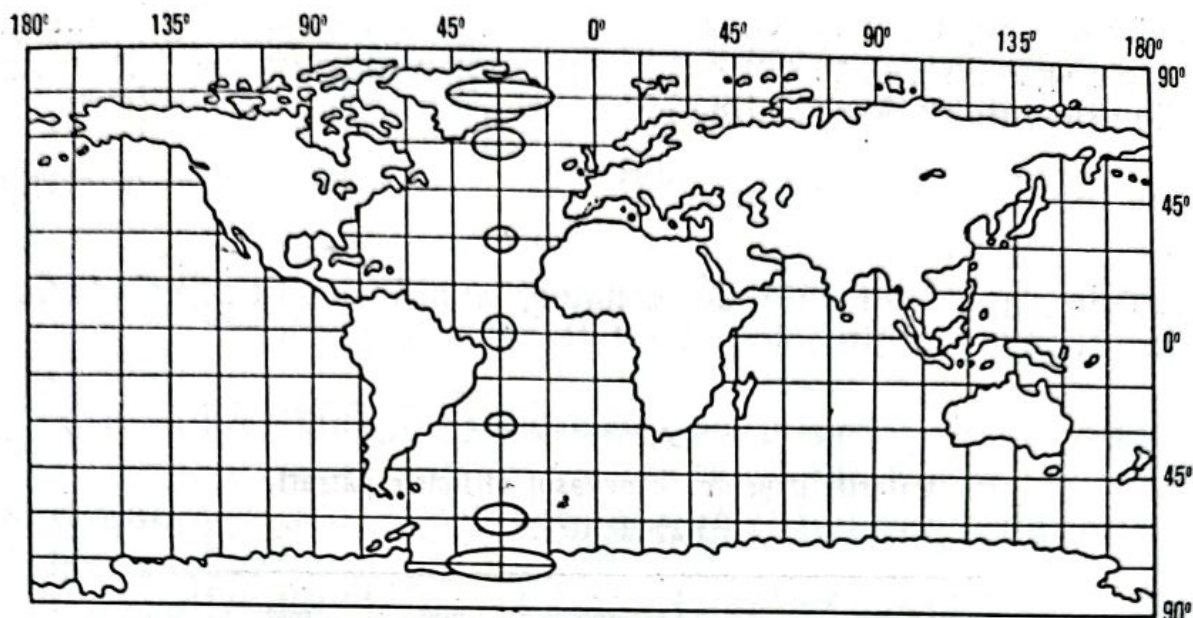


Fig. 5.20. Canevasul cilindric pătratic (echidistant pe meridian).

țin meridianele, de lungime πR . Distanțele paralele față de ecuator vor fi

$$d = R \operatorname{arc} \varphi \quad (5.47)$$

unde R — este raza sferei terestre micșorate și φ — latitudinea paralelului considerat. Canevasul, construit de Henric Navigatorul (1438), se numește *cilindric pătratic* și păstrează nedeformat ecuatorul și distanțele în sensul meridianelor. În figura 5.20 este reprezentat un canevas cilindric pătratic, în care deformările cresc vizibil de la ecuator spre cei doi poli care sînt reprezentați prin linii egale cu ecuatorul ($\Delta\varphi = \Delta\lambda = 15^\circ$).

Un paralel oarecare la latitudinea φ are lungimea naturală $2\pi R \cos \varphi$ iar în reprezentare $2\pi R$; scara pe acest paralel va fi deci

$$\frac{2\pi R}{2\pi R \cos \varphi} = \frac{1}{\cos \varphi} > 1. \quad (5.48)$$

Cînd cilindrul este secant la sferă, canevasul care se obține are ochiurile rețelei cartografice formate din dreptunghiuri cu atît mai alungite cu cît latitudinea paralelelor de intersecție ale cilindrului cu sfera este mai mare. Lungimea tuturor paralelelor — inclusiv a ecuatorului și a celor doi poli — este egală cu lungimea paralelului de secanță de latitudine φ_0

$$l = 2\pi R \cos \varphi_0; \quad (5.49)$$

meridianele se trasează ca paralele la generatoarea cilindrului prin punctele egal distanțate obținute pe ecuator (sau pe un paralel) în funcție de diferența de longitudine cerută

$$n = \frac{2 \pi R \cos \varphi}{\Delta \lambda} ; \quad (5.50)$$

distanțele paralelelor față de ecuator, avînd condiția echidistanței pe meridian, se obțin folosind relația $d = R \operatorname{arc} \varphi$.

Tabelul 5.8

Valorile d pentru canevasul cilindric pătratic
($\Delta \varphi = 30^\circ$, $R = 1$)

φ	0°	30°	60°	90°
d	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$

Proiecții cilindrice polare echivalente. Considerînd cilindrul tangent la sferă și o zonă sferică de înălțime h limitată de paralelele de latitudine φ_1 și φ_2 , suprafața acestuia va fi $S_z = 2\pi R h$, unde h rezultă din figura 5.21 a

$$h = BB' - DD'$$

$$BB' = R \sin \varphi_1 \quad \text{și} \quad DD' = R \sin \varphi_2$$

$$h = R (\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1). \quad (5.51)$$

Înlocuind în relația ariei zonei, se obține

$$S_z = 2\pi R^2 (\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1) \quad (5.52)$$

zonă reprezentată în plan prin dreptunghiul $B_1D_1E_1F_1$. Dreptunghiul obținut în reprezentare avînd lungimea $2\pi R$, iar lățimea totală a cilindrului fiind $2R$, aria generală a canevasului va fi

$$2\pi R \cdot 2R = 4\pi R^2 \quad (5.53)$$

care reprezintă aria sferei.

Pentru a micșora deformările de distanță în sensul paralelelor, zona sferică se poate sprijini pe un paralel de intersecție al cilindrului

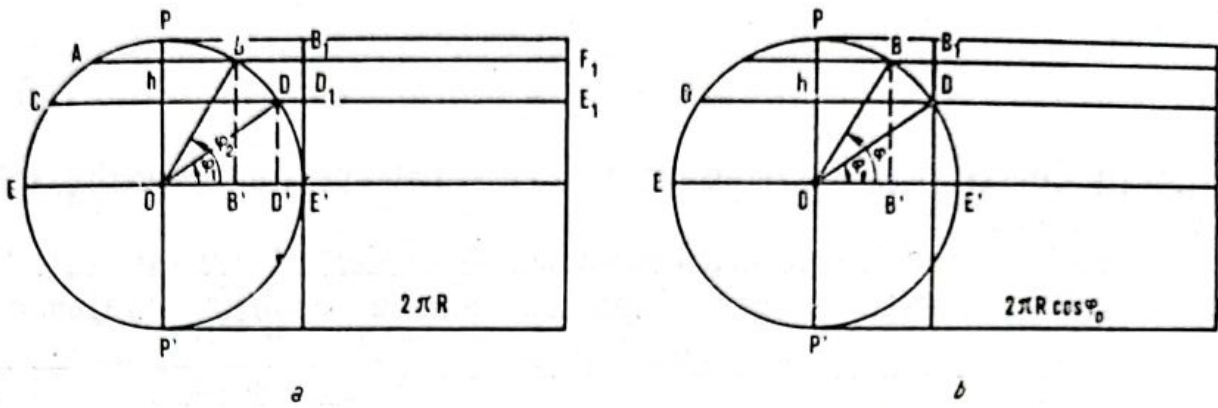


Fig. 5.21. Canevasul cilindric echivalent, tangent la sferă (a) și secant la sferă (b).

cu sfera (cilindrul secant la latitudinea φ_0). În acest caz, lungimea tuturor paralelelor va fi (figura 5.21 b)

$$L_p = 2 \pi R \cos \varphi_0$$

iar aria limitată de acest paralel și un paralel oarecare de latitudine φ

$$S = 2 \pi R^2 (\sin \varphi - \sin \varphi_0) \quad (5.54)$$

de unde rezultă că înălțimea sa este

$$h = \frac{R (\sin \varphi - \sin \varphi_0)}{\cos \varphi_0} \quad (5.55)$$

care reprezintă și distanța unui paralel oarecare față de paralelul de intersecție al cilindrului cu sfera.

Pentru a calcula distanța unui paralel oarecare față de ecuator, care are lungimea în proiecție $2\pi R \cos \varphi_0$, aria unei zone limitată de ecuator și un paralel oarecare va fi

$$S_z = 2 \pi R^2 \sin \varphi. \quad (5.56)$$

Față de lungimea în proiecție a ecuatorului ($2\pi R \cos \varphi_0$) înălțimea dreptunghiului va fi în acest caz

$$h = \frac{S_z}{L_E} = \frac{2 \pi R^2 \sin \varphi}{2 \pi R \cos \varphi_0} = \frac{R \sin \varphi}{\cos \varphi_0} \quad (5.57)$$

care reprezintă în același timp și distanța paralelului oarecare față de ecuator. Pentru construcția canevasului, ecuatorul se divide în părți egale, distanța dintre două meridiane consecutive fiind

$$n = \frac{2 \pi R \cos \varphi_0}{\Delta \lambda} \quad (5.53)$$

iar paralelele se trasează față de ecuator la distanța

$$d = \frac{R \sin \varphi}{\cos \varphi_0} \quad (5.59)$$

în funcție de $\Delta\lambda$ și $\Delta\varphi$ care se cer pentru construcția canevasului cilindric echivalent.

Proiecții cilindrice polare conforme. Considerînd un cilindru tangent la sferă în poziție polară, după desfășurare se obțin paralelele de lungime egală cu ecuatorul ($2\pi R$), reduse la scara $\frac{2\pi R}{2\pi R \cos \varphi} = \frac{1}{\cos \varphi}$, scară care este în funcție de latitudine și care variază în lungul unui meridian. Dacă scara pe meridian variază din grad în grad, distanța paralelului de 1° față de ecuator va fi $\frac{2\pi R}{360} \cdot \frac{1}{\cos 1^\circ}$, pentru paralelul de 2° , $\frac{2\pi R}{360} \left(\frac{1}{\cos 1^\circ} + \frac{1}{\cos 2^\circ} \right)$ iar pentru paralelul de latitudine φ° , distanța sa la ecuator va fi

$$\frac{2\pi R}{360} \left(\frac{1}{\cos 1^\circ} + \frac{1}{\cos 2^\circ} + \dots + \frac{1}{\cos \varphi^\circ} \right). \quad (5.60)$$

Dacă se iau intervalele dintre paralele infinit mici, notînd cu dl proiecția unui meridian $R d\varphi$, se obține

$$dl = R d\varphi \frac{1}{\cos \varphi} \quad \text{de unde}$$

$$l = \int_0^\varphi \frac{R d\varphi}{\cos \varphi} = R \ln \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (5.61)$$

unde $\ln$ — este logaritmul natural al tangentei.

Pentru cazul limită $\varphi = 90^\circ$, se obține

$$\ln \operatorname{tg} 90^\circ = \infty, \text{ iar scara } \frac{1}{\cos 90^\circ} = \infty.$$

Canevasul cilindric conform este cunoscut în cartografie sub numele de canevasul Mercator (U.T.M.)* folosind în calcule și formula transformată pentru logaritmi zecimali

$$l = \frac{C}{0,43429} \ln \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad \text{unde}$$

l — este distanța unui paralel oarecare față de ecuator, iar $C = R$ pentru cazul cilindrului tangent la sferă și $C = R \cos \varphi_0$ cînd cilindrul este secant la sferă la latitudinea φ_0 .

* Gerard Kremer Mercator, cartograf flamand (1512—1594), a construit în 1569 canevasul U.T.M. (Universal Transversal Mercator).

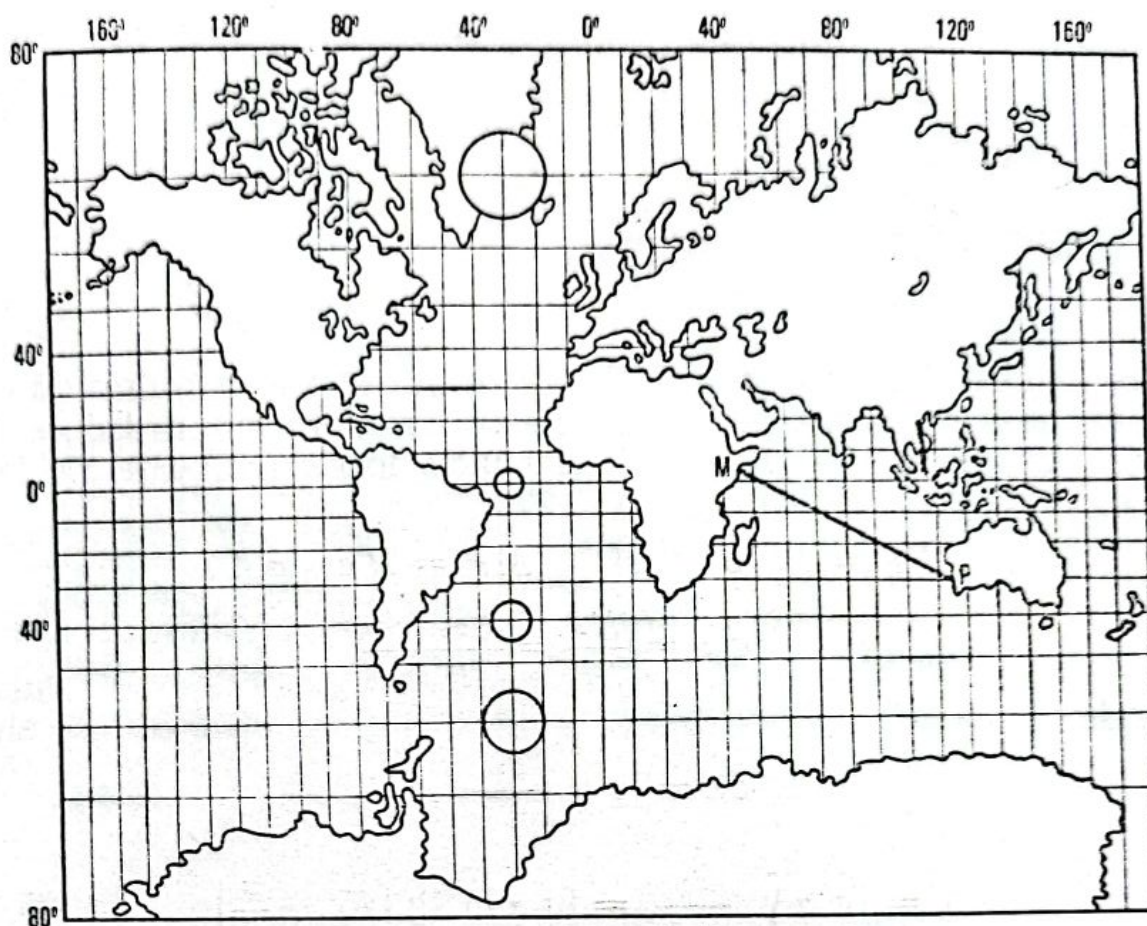


Fig. 5.22. Canevasul în proiecția cilindrică conformă Mercator.

Întrucât distanțele paralelelor cresc spre cei doi poli care nu pot fi reprezentați în canevas, în mod practic acesta se construiește pînă la $\pm 80^\circ$.

În figura 5.22 este reprezentat un canevas cilindric conform Mercator, prin utilizarea formulelor $2\pi R$, $n = \frac{360^\circ}{\Delta\lambda}$ și $l = \ln \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right)$.

Tabelul 5.9

Distanțele paralelelor față de ecuator pentru canevasul cilindric conform ($\Delta\varphi = 20^\circ$)

φ	0°	20°	40°	60°	80°
l	0	0,3564	0,7629	1,3170	2,4362

Proprietatea principală a proiecției Mercator este că păstrează unghiurile nedeformate, iar *loxodroma*, curba care taie meridianele sub

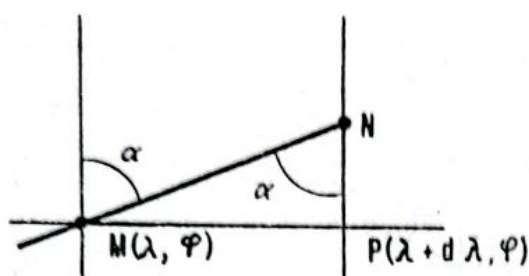


Fig. 5.23. Loxodroma.

același unghi (MP în figura 5.22), apare în canevas ca o dreaptă care se păstrează în mărime naturală. Ecuația loxodromei se deduce din figura 5.23, unde M și N sînt două puncte foarte apropiate ale loxodromei

$$NP = R d\varphi \quad \text{și} \quad MP = R \cos \varphi d\lambda$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{MP}{NP} = \frac{R \cos \varphi d\lambda}{R d\varphi}$$

de unde

$$d\lambda = \operatorname{tg} \alpha \frac{d\varphi}{\cos \varphi} \quad \text{și}$$

$$\lambda = \operatorname{tg} \alpha \int_0^{\varphi} \frac{d\varphi}{\cos \varphi} = \operatorname{tg} \alpha \ln \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi}{2} \right) \quad (5.62)$$

unde α — este unghiul loxodromic sub care dreapta MN taie meridianele. Acest unghi poate fi determinat cînd se cunosc două puncte ale curbei, $A (\lambda_A, \varphi_A)$ și $B (\lambda_B, \varphi_B)$. Înlocuind

$$\lambda_A = \operatorname{tg} \alpha \ln \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_A}{2} \right)$$

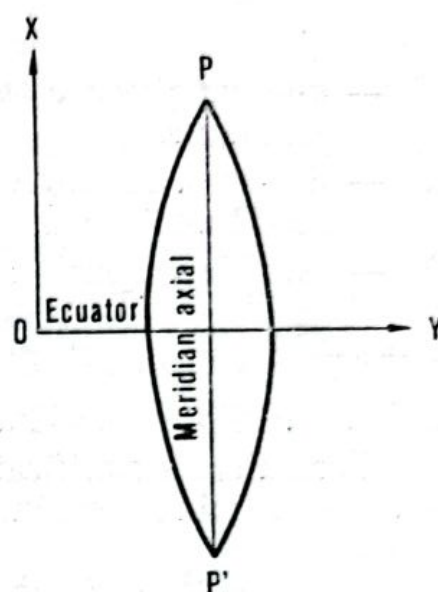
$$\lambda_B = \operatorname{tg} \alpha \ln \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_B}{2} \right)$$

iar prin scăderea celor două relații se obține

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\lambda_A - \lambda_B}{\ln \frac{\operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_A}{2} \right)}{\operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_B}{2} \right)}} \quad (5.63)$$

Proiecții cilindrice ecuatoriale și oblice. Dacă axa cilindrului este perpendiculară pe axa polilor sau face un unghi oarecare cu aceasta, prin desfășurarea cilindrului se obțin proiecții ecuatoriale, tangente sau

Fig. 5.24. Un fus sferic în proiecția Gauss-Krüger.



secante, respectiv proiecții oblice. Dintre *canevasele cilindrice ecuatoriale* (transversale) cel construit de Gauss este utilizat astăzi de unele țări ale lumii pentru hărțile topografice.

Proiectarea suprafeței terestre se face pe fuse sferice cu amplitudini de 6° în longitudine, câte 3° de fiecare parte a cercului mare (meridianului) axial care este reprezentat nedeformat printr-o dreaptă perpendiculară pe ecuator, de asemenea redat liniar. Coordonatele rectangulare pentru un fus sferic nu au ca origine punctul de intersecție al meridianului central cu ecuatorul, ci un punct situat pe ecuator la 500 km vest, pentru ca abscisele Y să fie pozitive (figura 5.24). Deci, coordonatele rectangulare ale punctului O vor fi: $X = 0$ km și $Y = 500$ km, iar un punct oarecare P de coordonate $X_P = 2\,910,425$ km și $Y_P = 4\,300,160$ km se va afla la o depărtare de $2\,910,425$ km în sensul ordonatei și la $300,160$ km ($Y_O - Y_P$) la vest de meridianul axial, cifra inițială 4 de valoarea Y_P indicînd numărul fusului față de meridianul de origine, în nomenclatura internațională a hărților Gauss-Krüger. Formulele care ne dau coordonatele rectangulare Gauss-Krüger sînt

$$\begin{aligned}
 X &= B + \frac{\lambda^2}{2} \cdot \frac{N}{\rho^2} \sin \varphi \cos \varphi + \\
 &\quad + \frac{\lambda^4}{24} \frac{N}{\rho^4} \sin \varphi + \cos^3 \varphi (5 - t^2 + 9 \eta^2 + 4 \eta^4) \\
 Y &= \lambda \frac{N}{\rho} \cos \varphi + \frac{\lambda^3}{6} \frac{N}{\rho^3} \cos^3 \varphi (1 - t^2 + \eta^2) + \\
 &\quad + \frac{\lambda^5}{120} \frac{N}{\rho^5} \cos^3 \varphi (5 - 18 t^2 + t^4)
 \end{aligned}
 \tag{5.64}$$

unde

B — este lungimea arcului de meridian între ecuator și paralelul de latitudine φ ;

λ — diferența de longitudine dintre meridianul punctului considerat și meridianul axial al fusului;

N — raza de curbură a primului vertical;

$\rho = \frac{\pi}{180^\circ}$; $t = \operatorname{tg} \varphi$; $\eta^2 = e'^2 \cos^2 \varphi$ și $e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$ (excentricitatea a doua a elipsei meridiane).

Formulele simplificate, care se utilizează în lucrările cartografice practice elimină termenii în λ^4 și λ^5 ; rezultă deci

$$\begin{aligned} X &= B + \frac{\lambda^2}{2} \frac{N}{\rho^2} \sin \varphi \cos \varphi \\ Y &= \lambda \frac{N}{\rho} \cos \varphi + \frac{\lambda^3}{6} \frac{N}{\rho^3} \cos^3 \varphi (1 - t^2 + \eta^2). \end{aligned} \quad (5.65)$$

Coordonatele rectangulare Gauss-Krüger au fost calculate și se pot extrage din tabele speciale. Numerotarea fuselor sferice longitudinale de câte 6° începe de la meridianul 180° (meridianul Pacificului) spre vest, astfel că emisfera noastră (estică) este acoperită de fusele 31—60. În sens latitudinal, sfera terestră este divizată din 4° în 4° , obținându-se 22 zone sferice pentru fiecare emisferă notate de la A la V.

Teritoriul țării noastre este acoperit în cea mai mare parte de fusele 34 și 35 și zona L (18° — 24° și 24° — 30° longitudine E și 44° — 48° latitudine N). Trecerea de la foile de hartă la scara 1 : 1 000 000 la hărți cu scări din ce în ce mai mari se face cu ajutorul sistemului internațional de nomenclatură, adoptat în anul 1924 la Congresul Internațional de Geodezie și Geofizică (a se vedea figura 5.25 și tabelul 5.10).

În tabelul 5.10 se dau scările, numărul secțiunilor, dimensiunile și nomenclatura hărților Gauss-Krüger pentru o foaie de hartă la scara 1 : 1 000 000.

Dintre *proiecțiile cilindrice oblice* se menționează pe cea a lui Soloviev, în care axa cilindrului face un unghi de 15° cu axa terestră. Proiecția a fost construită pentru teritoriul U.R.S.S. și folosește proiecția stereografică. Meridianele apar ca linii curbe arcuite mai mult spre extremitățile longitudinale, cu excepția meridianului central care este redat printr-o linie dreaptă. Paralelele, de asemenea, sînt trasate prin curbe.

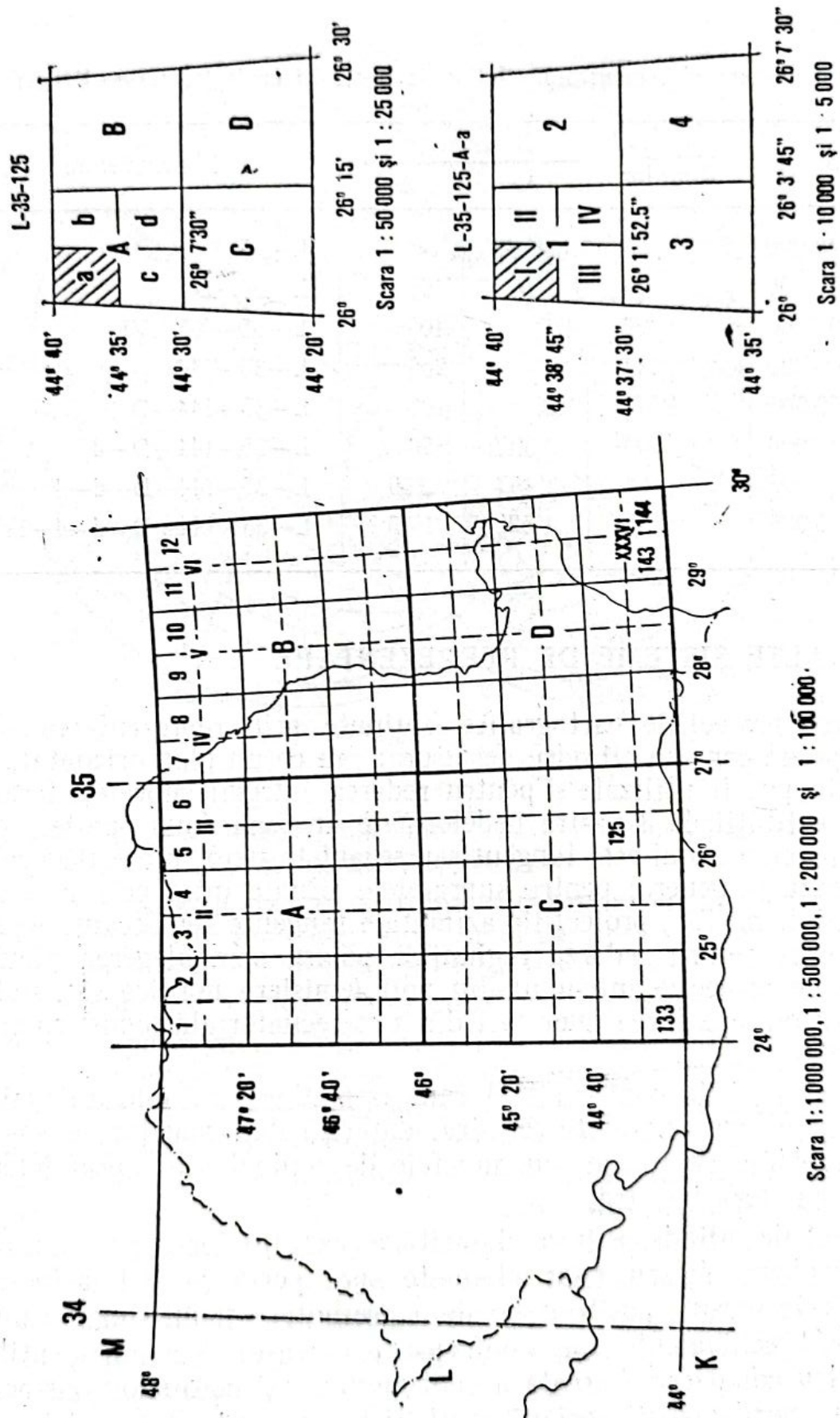


Fig. 5.25. Împărțirea și nomenclatura foilor de hartă în proiecția Gauss-Krüger.

Nomenclatura și dimensiunile foilor de hartă în proiecția Gauss-Krüger

Scara	Nr. sec- țiunilor	Dimensiunea		Nomenclatura
		$\Delta\lambda$	$\Delta\varphi$	
1 : 1 000 000	1	6°	4°	L-35
1 : 500 000	4	3°	2°	L-35-D
1 : 200 000	36	1°	40'	L-35-XXXVI
1 : 100 000	144	30'	20'	L-35-144
1 : 50 000	4(576)	15'	10'	L-35-144-D
1 : 25 000	16 (2304)	7'30''	5'	L-35-144-D-d
1 : 10 000	64	3'45''	2'30''	L-35-144-D-d-4
1 : 5 000	256	1'52'',5	1'15''	L-35-144-D-d-4-IV

5.6. ALTE SISTEME DE REPREZENTARE

Dintre proiecțiile cartografice obținute prin reprezentarea sferei terestre pe un con sau cilindru desfășurat sau pe un plan orizontal, cele mai multe pot fi utilizate și pentru redarea întregii suprafețe terestre. Datorită calității de a păstra nedeformate una sau două paralele standard, după cum conul este tangent sau secant la sferă, proiecțiile conice se utilizează în general pentru suprafețele situate între poli și ecuator (la latitudini medii); proiecțiile azimutale tangente sau secante se folosesc frecvent pentru redarea regiunilor polare prin alegerea planului orizontal de proiecție într-unul din poli (emisfera nordică sau sudică) sau pentru reprezentarea unor țări din zona ecuatorială (emisfera estică sau vestică).

Atât proiecțiile conice cât și cele azimutale sînt folosite mai rar la redarea întregii suprafețe terestre, datorită deformărilor ce apar cu cît ne depărtăm de liniile sau punctele de contact ale suprafețelor de proiecție cu sfera terestră.

Proiecțiile cilindrice însă, datorită aspectului lor grafic, clarității în reprezentare, deformărilor atenuate spre periferia sistemelor cînd cilindrul este secant, posibilității de a prezenta într-un singur canevaz reprezentări echivalente sau conforme (canevasul Mercator), atât de utile pentru compararea areală a continentelor și oceanelor sau pentru navigația maritimă și aeriană cînd se cere păstrarea nedeformată

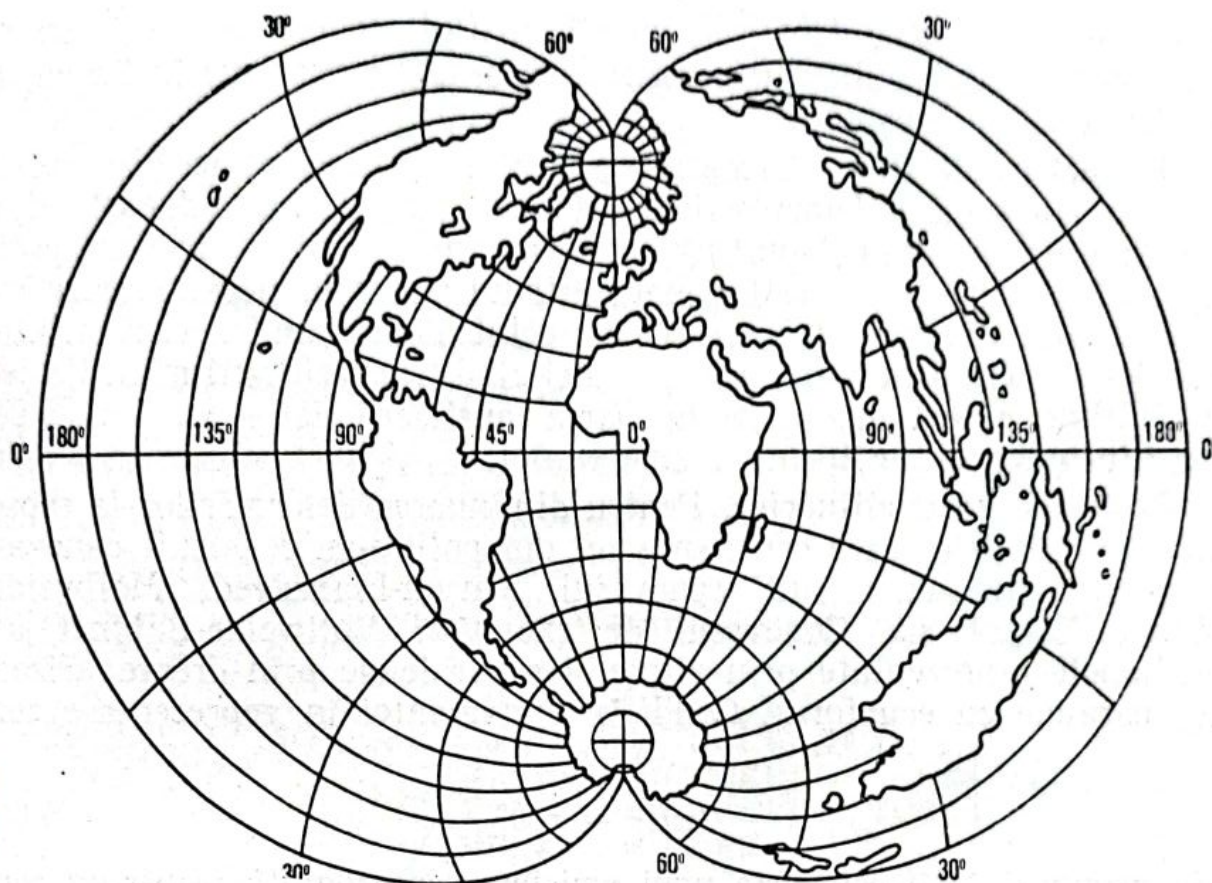


Fig. 5.26. Canevasul policonic.

a unghiurilor, sînt folosite mai mult în construirea canevaselor pentru planigloburi sau a mapamondurilor.

Cu toate acestea, pentru a diminua deformările care apar mai ales în regiunile polare, s-au construit canevase speciale pentru planigloburi care pot fi cuprinse în mai multe categorii de reprezentări cartografice: policonice, poliedrice, pseudocilindrice, circulare și derivate.

Proiecții policonice. Sînt reprezentări cartografice cu deformări mai mici decît în proiecțiile conice, dacă latitudinal se înfășoară sfera terestră în trunchiuri de con. O astfel de proiecție este aceea construită de Gassler, numită și proiecția policonică simplă americană (figura 5.26), prin care apar mari deformări în ceea ce privește distanțele pe meridian spre periferia sistemului. În schimb, se păstrează distanțele pe meridianul axial și pe paralele, care sînt redată prin arce de cercuri excentrice.

Proiecția Lalleman a fost propusă pentru harta lumii la scara 1 : 1 000 000. Meridianele fuselor sferice sînt redată prin drepte, paralelele prin arce de cerc, cu excepția paralelelor limită ale fiecărei foi care sînt reprezentate prin drepte. În longitudine, zonele sferice au o amplitudine de 6° pînă la $\pm 64^\circ$, de 12° între $\pm 64^\circ$ și $\pm 80^\circ$ și de 24°

între $\pm 80^\circ$ și $\pm 88^\circ$, deoarece, cu cât latitudinea crește, arcele de paralel spre cei doi poli se micșorează, ca și ariile cuprinse în fuzele sferice limitate de meridiane.

Proiecții poliedrice. Urmărind același scop ca și proiecțiile policonice, se micșorează deformările care cresc pe măsura îndepărtării de suprafața de proiecție; Müfling înfășoară sfera terestră într-un poliedru, unde fiecare față este tangentă într-un punct la sferă. Fiecare trapez curbiliniu al suprafeței terestre proiectat, devine un trapez rectiliniu, unde deformările sînt foarte mici, atunci cînd trapezele sînt mici. Proiecția Müfling a fost utilizată la harta austriacă la scara 1 : 75 000 care cuprindea și teritoriul Transilvaniei.

Proiecții pseudocilindrice. Pentru diminuarea deformărilor la reprezentările cilindrice care cresc spre cei doi poli, s-au construit canevase pseudocilindrice cum sînt canevasele Sanson-Flamsteed, Mollweide-Babinet, Eckert ș.a. Canevasele de exemplu, Mollweide-Babinet are meridianele reprezentate prin elipse, iar paralelele prin drepte orizontale, paralele cu ecuatorul. Condiția echivalenței în reprezentare cere ca

$$2\pi R^2 = \pi b^2 \quad (5.66)$$

unde membrul întîi este aria unei emisfere reprezentată printr-un cerc de rază b , iar membrul al doilea aria acestui cerc (figura 5.27).

Din figura dată, rezultă că

$$b = R\sqrt{2} \quad (5.67)$$

valoare care reprezintă-semi-axa mică a elipsei periferice a canevaseului.

Considerînd aria elipsei πab și a sferei $4\pi R^2$, se obține

$$a = \frac{4R^3}{b} = \frac{4R^3}{R\sqrt{2}} = 2R\sqrt{2} = 2b \quad (5.68)$$

ceea ce arată că semi-axa mare este de două ori mai mare decît semi-axa mică; se prelungește axa ecuatorială astfel ca $a = 2b$ și se divide în părți egale în funcție de diferența de longitudine impusă canevaseului. Prin punctele de diviziune de pe ecuator vor trece meridianele care în proiecție sînt elipse ce au aceeași axă, egală cu $2b$.

Aria zonei sferice limitată de ecuator și un paralel oarecare de latitudine φ este

$$2\pi R h = 2\pi R^2 \sin \varphi \quad (5.69)$$

dacă se consideră jumătate din zona de arie $\pi R^2 \sin \varphi$, aceasta va fi redată printr-o zonă circulară de înălțime d ; în figura 5.28 zona se poate

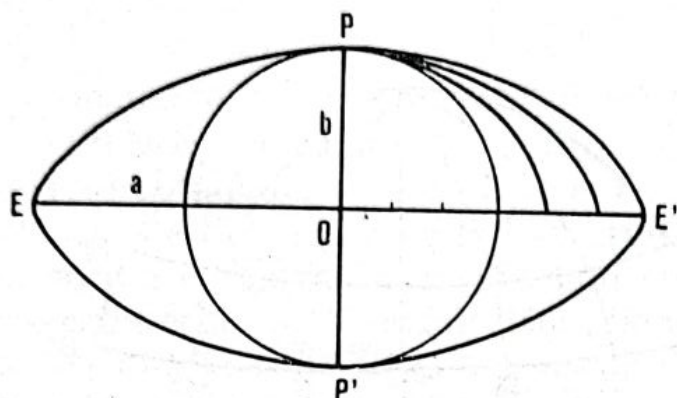


Fig. 5.27. Canevasul în proiecția Mollweide-Babinet.

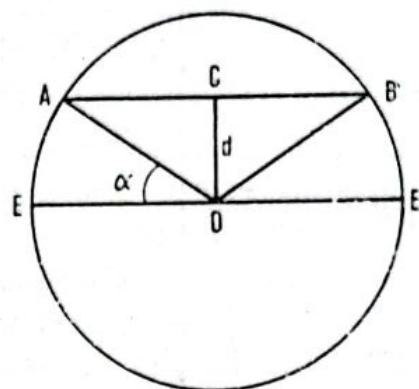


Fig. 5.28. Zona circulară limitată de ecuator și un paralel.

descompune în triunghiul AOB și două sectoare circulare egale de unghi α , AOE și BOE' ; se obține

$$\left. \begin{aligned} AOE &= \frac{b^2 \text{arc } \alpha}{2} = \frac{2 R^2 \text{arc } \alpha}{2} = R^2 \text{arc } \alpha \\ d &= b \sin \alpha = R \sqrt{2} \sin \alpha \\ AC &= b \cos \alpha = R \sqrt{2} \sin \alpha \\ OAB &= 2 R^2 \sin \alpha \cos \alpha = R^2 \sin 2 \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (5.70)$$

Condiția echivalenței cere ca semiaria zonei sferice să fie egală cu aria zonei circulare

$$\left. \begin{aligned} \pi R^2 \sin \varphi &= 2 R^2 \text{arc } \alpha + R^2 \sin 2 \alpha \\ \pi \sin \varphi &= 2 \text{arc } \alpha + \sin 2 \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (5.71)$$

Această ecuație dă posibilitatea să se calculeze prin aproximații succesive α , deci d și să se poată trasa paralelul de latitudine φ . În tabelul 5.11 sînt date valorile d . Dreptele paralele la ecuator trasate la distanța d se divizează în părți egale ca și ecuatorul, obținîndu-se punctele de intersecție ale meridianelor cu paralelele.

Tabelul 5.11

Valorile d pentru $\Delta\varphi = 10^\circ$ și $b = 1$

φ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
d	0	0,137	0,272	0,404	0,531	0,651	0,762	0,862	0,945	1,000

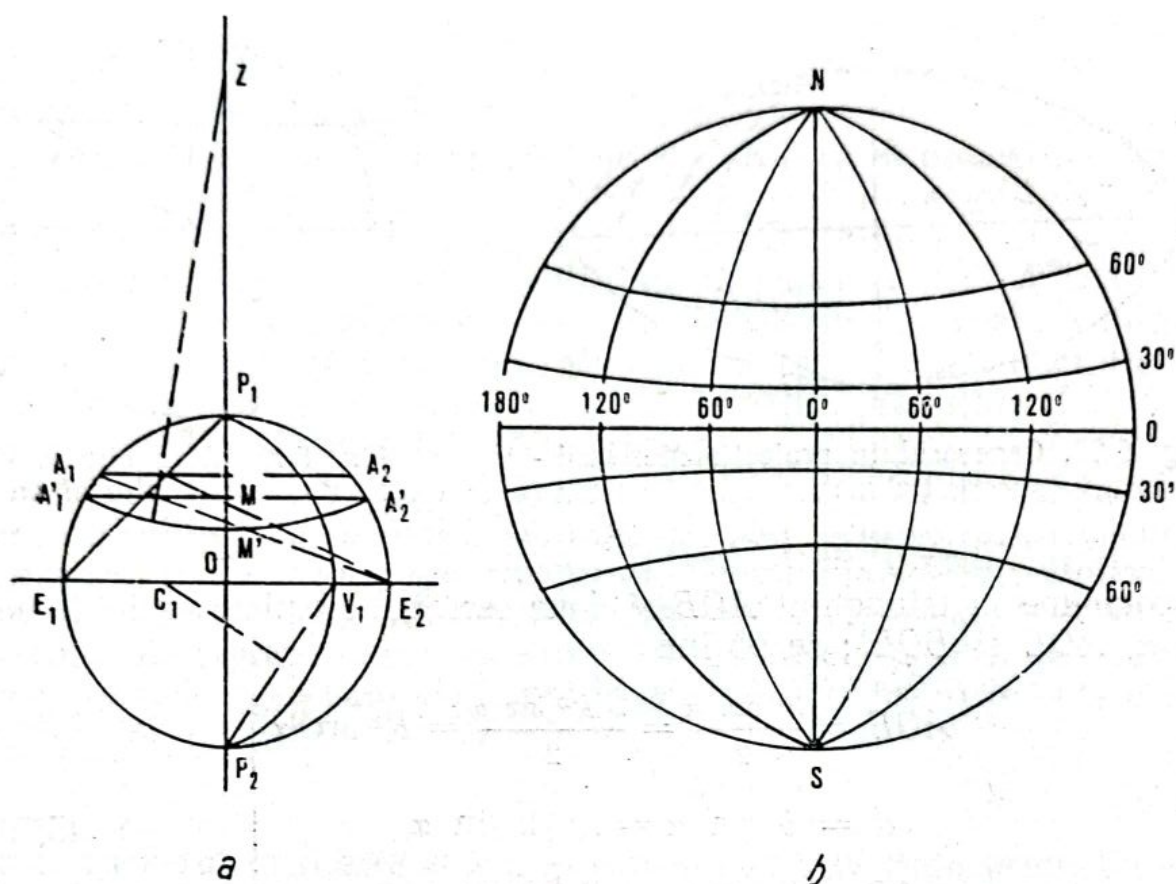


Fig. 5.29. Construcția grafică (a) și canevasul în proiecția Grinten (b).

Proiecții circulare. Proiecția Grinten. Limita acestui canevas este un cerc ce reprezintă meridianul de 180° sau un alt meridian. Ecuatorul și meridianul origine (Greenwich) sînt diametrele cercului, perpendiculare unul pe celălalt. Pentru construirea meridianelor, se divizează ecuatorul în părți egale, obținîndu-se punctele V_1, V_2 etc. care se unesc cu unul din poli (în cazul de față cu P_2). Centrele cercurilor meridiene (C_1, C_2 etc.) se vor găsi pe axa ecuatorială sau pe prelungirea ei, la intersecția acesteia cu perpendicularele ridicate pe jumătățile dreptelor V_1P_2, V_2P_2 etc. (figura 5.29 a). Paralelele se construiesc în felul următor: se divizează semicercul $E_1P_1P_2$ în numărul de arce de latitudine dorit. Se trasează coarda P_1E_1 . Prin punctele A_1A_2 ce definesc paralelul de latitudine φ se duce o dreaptă paralelă la ecuator. Intersecția coardei P_1E_1 cu paralelul A_1A_2 dă punctul F . Se unește F cu E_2 . Această dreaptă taie axa polilor în punctul M . O paralelă la ecuator prin M , va da pe cerc punctele A'_1 și A'_2 , care sînt două puncte ale paralelului A_1A_2 în reprezentare. Unind apoi punctul A_1 cu E_2 se obține punctul M' , al treilea punct al paralelului din proiecție. Pentru a afla centrul cercului al cărui arc în cadrul figurii de bază reprezintă paralelul în canevas se unește A'_1 cu M' și intersecția perpendicularei ridicate pe jumătatea acestei drepte

cu prelungirea meridianului axial va da centrul cercului paralel (punctul Z). În reprezentare paralelul va trece prin punctele A'_1 , M' și A'_2 .

În figura 5.29 b este reprezentat un canevas în proiecția Grinten:

Proiecția globulară. De multe ori, pe hărțile murale și în atlase, se găsește suprafața terestră reprezentată pe două emisfere tangente, vestică și estică. Pentru astfel de cazuri se aleg fie proiecțiile azimutale în poziție ecuatorială (spre exemplu proiecția stereografică ecuatorială, proiecția echivalentă ecuatorială), fie proiecțiile cilindrice polare, luând numai jumătate din lungimea cilindrului desfășurat. O proiecție potrivită pentru reprezentarea întregului glob pe emisfere este proiecția globulară, care se construiește astfel: într-un cerc cu rază arbitrară se duc cele două diametre, polar și ecuatorial; atât ecuatorul cât și semicercul $E_1P_1E_2$ se împart în diviziuni corespunzătoare diferențelor de latitudini și longitudini considerate (figura 5.30).

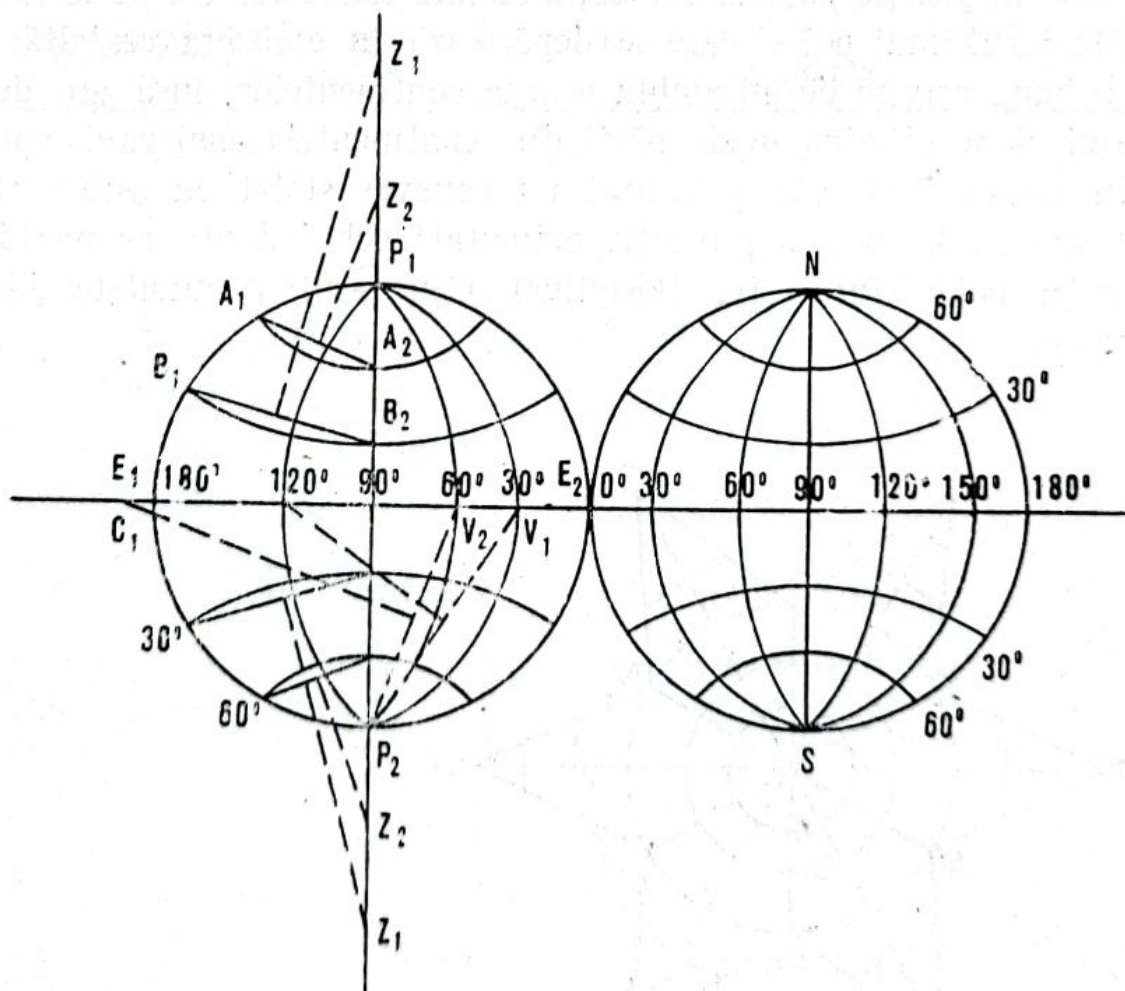


Fig. 5.30. Rețeaua cartografică în proiecția globulară.

Pentru trasarea meridianelor se procedează ca la proiecția Grinten: se unesc punctele de diviziune de pe ecuator cu unul din poli, iar punctele de intersecție ale perpendicularelor pe jumătatea dreptelor V_1P_2 și V_2P_2 cu axa ecuatorială, sînt centrele cercurilor meridiene. Paralelele se obțin unind punctele de diviziune de pe diametrul polar cu punctele corespunzătoare de pe cerc. Intersecțiile perpendicularelor pe jumătatea dreptelor A_1A_2 și B_1B_2 cu prelungirea axei polilor, vor da centrele Z_2 și Z_1 ale paralelelor, care în reprezentare apar ca arce de cerc în cadrul meridianului limită al canevasului.

În figura 5.30 este prezentată rețeaua cartografică în proiecția globulară.

Proiecții derivate. Pentru planigloburile la scări mici, se folosește *canevasul stelat*, care de obicei se bazează (derivă) pe una din proiecțiile azimutale în poziție polară. Proiecția stelată folosește fuse de meridian unite în jurul unui pol și care se depărtează în emisfera cealaltă. Ea oferă o bună privire de ansamblu asupra continentelor, însă are dezavantajul că se elimină unele părți din continentele emisferei opuse.

În figura 5.31 este prezentat un canevas stelat cu șase vîrfuri (fuse) care are la bază o proiecție azimutală echidistantă pe meridian în poziție polară (proiecția Postelius). Canevasul se numește Jäger-Petermann.

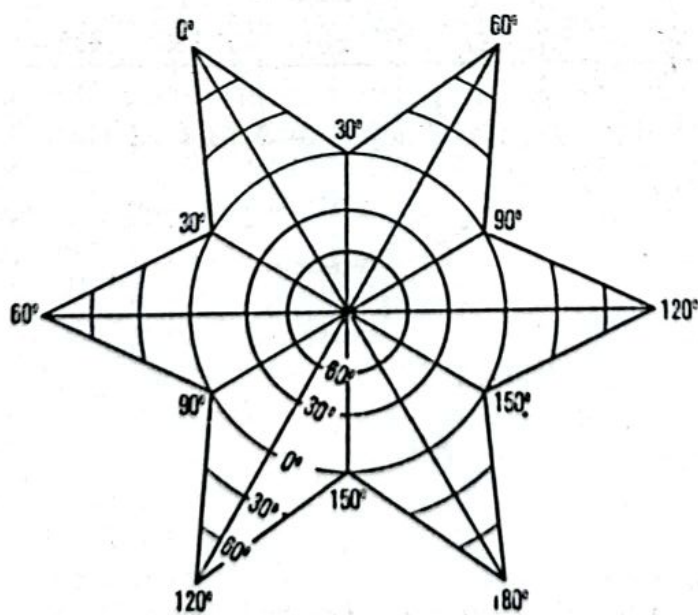


Fig. 5.31. Canevasul stelat.

Tabelul 5.12

Proiecții cartografice folosite în România pentru harta topografică de bază

Proiecția cartografică	Anul introducerii	Sistemul de reprezentare plană
Cassini	1876	Proiecție cilindrică
Bonne	1895	Proiecție conică echivalentă
Lambert-Cholesky	1917	Proiecție conică conformă
Stereografică Budapesta*		Proiecție azimutală perspectivă conformă
Stereografică Tîrgu Mureș*		Idem
Stereografică Brașov**	1933	Idem
Gauss-Krüger	1951	Proiecție cilindrică transversală conformă
Stereografică 1970**	1970	Proiecție azimutală perspectivă conformă

* Cu plan tangent.

** Cu plan secant.

6 COORDONATE CEREȘTI ȘI COORDONATE GEOGRAFICE

Pentru orientarea sa în timp și spațiu pe planetă, omul a căutat din primele zări ale vieții sale conștiente, să-și stabilească repere în spațiu pentru a se putea reîntoarce la adăpostul ales și repere în timp, pentru limitarea activităților sale. Aceste repere le-a găsit în mediul înconjurător și în aștrii, care prin mișcările lor periodice îi ofereau unitățile de timp, ziua, luna și anul. De aici a apărut necesitatea unor noțiuni elementare ale astronomiei de poziție, care folosind coordonatele cerești au condus la cele geografice, iar mișcările aparente ale aștrilor au oferit posibilitatea definirii timpului și a curgerii lui.

6.1. SFERA CEREASCĂ

Aparențele sferei cerești. Dacă într-o noapte senină privim cerul înstelat el ne apare ca o boltă sferică. Aceasta intersectează suprafața terestră după o linie numită *orizont aparent*. Bolta cerească pare că are o rază de numai câțiva kilometri și că variază de la un loc la altul. Dacă ne deplasăm spre răsărit sau spre apus, se observă că imaginea cerului nu se schimbă, rămânând vizibile aceleași stele. Se pare că bolțile cerești locale se contopesc într-o singură suprafață sferică, față de care dimensiunile Pământului sînt neglijabile. Sfera aparentă cu raza nedeterminată avînd centrul în centrul Pământului poartă numele de *sferă cerească*.

Stelele par că se află toate la aceeași distanță pe sfera cerească (deși ele se află la distanțe foarte diferite). A doua aparență este că stelele nu-și schimbă poziția relativă (una față de alta), de unde gruparea lor după aparențe, în *constelații*. Sînt 88 de constelații, în interiorul cărora stelele poartă nume proprii (cele mai strălucitoare), litere ale alfabetului grec, iar cele mai puțin strălucitoare numere de ordine.

Culoarea albastră a cerului se explică prin difuziunea luminii, radiațiile albastre și violete fiind mai mult difuzate decît cele roșii și infraroșii. Dacă la lumina zilei se înregistrează pe peliculă fotografică sensibilizată spre roșu (printr-un filtru de lumină pentru raze roșii) copacii,

aceștia vor apare albi (clorofila reflectînd roșul), iar cerul va apare negru (radiațiile albastre fiind absorbite de filtru).

La orizont, aștrii par mai mari deoarece sînt proiectați pe un plan mai îndepărtat decît atunci cînd se află deasupra orizontului.

Rotația sferei cerești. Privind cerul se vede să stelele răsar, culminează, apoi apun, în mod periodic, de unde se naște aparența că sfera cerească în întregimea ei se rotește, de la răsărit spre apus, cu o perioadă de 24 ore. Numai Steaua Polară și cele din jurul ei par nemișcate. Privind Steaua Polară se observă că celelalte stele se mișcă în sensul contrar acelor ceasornicului. Acesta este *sensul retrograd* al mișcării aparente. Mișcarea sferei cerești în sens retrograd este o aparență cauzată de mișcarea reală de rotație a Pămîntului în sensul contrar numit *sens direct*. Admitem deocamdată uniformitatea mișcării de rotație a Pămîntului.

Se poate avea o imagine a mișcării aparente a sferei cerești înregistrînd cerul într-o fotografie centrată pe Steaua α Ursae Minoris, numită Steaua Polară, cu o expunere de aproximativ o oră. Pe imagine se vor înregistra urmele produse de stele în mișcarea lor de rotație, urme cu atît mai lungi cu cît steaua este mai depărtată de Steaua Polară. În acest mod, se pot determina două puncte pe sfera cerească care nu au mișcare diurnă. Aceste puncte sînt diametral opuse și se numesc *polii lumii*. Polul în jurul căruia — privindu-l în față — se vede mișcarea diurnă efectuîndu-se în sens contrar celui trigonometric este *Polul Nord* (P), iar punctul diametral opus este *Polul Sud* (P'). Diametrul care unește cei doi poli este *axa lumii*, adică axa de rotație a sferei cerești, paralelă cu axa de rotație a Pămîntului (figura 6.1).

Direcția firului cu plumb într-un loc dat este *verticala locului*. Punctul de intersecție al verticalei locului — dusă prin centrul sferei cerești (O) — cu sfera cerească deasupra capului observatorului se numește *zenit* (Z), iar punctul diametral opus se numește *nadir* (N).

Planul dus prin centrul sferei cerești perpendicular pe verticala locului este *planul orizontal*. El taie sfera cerească după un cerc mare, numit *orizontul matematic* sau *orizontul adevărat*. Limita pînă la care observatorul poate vedea suprafața netedă a Pămîntului este *orizontul aparent* sau *fizic*; este în general de formă circulară și raza sa — spre deosebire de aceea a orizontului matematic — este determinată, variînd doar cu înălțimea observatorului.

Fie h înălțimea observatorului într-un punct A al suprafeței terestre (figura 6.2). Tangentele duse din ochiul observatorului B la suprafața terestră au comun cu aceasta punctele de tangență al căror loc geometric este orizontul fizic, iar sfera cu raza d este bolta cerească. Unghiul

Fig. 6.1. Sfera cerească.

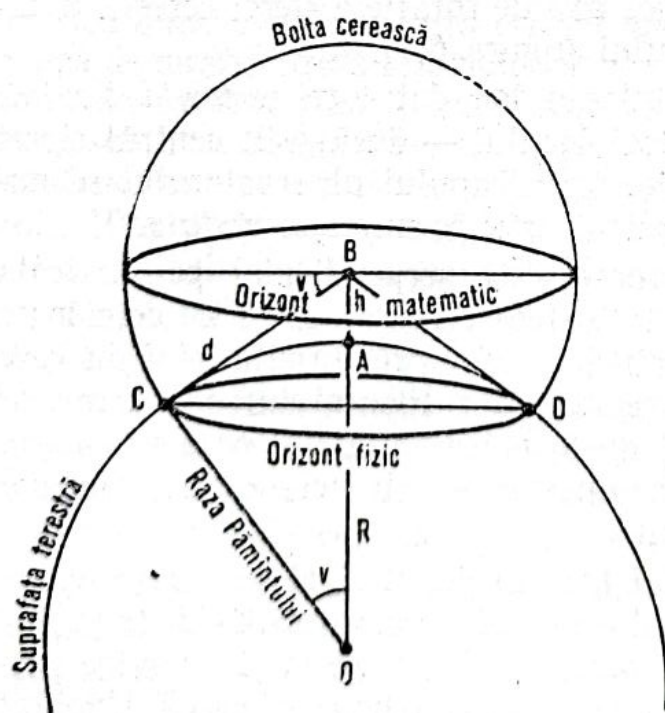
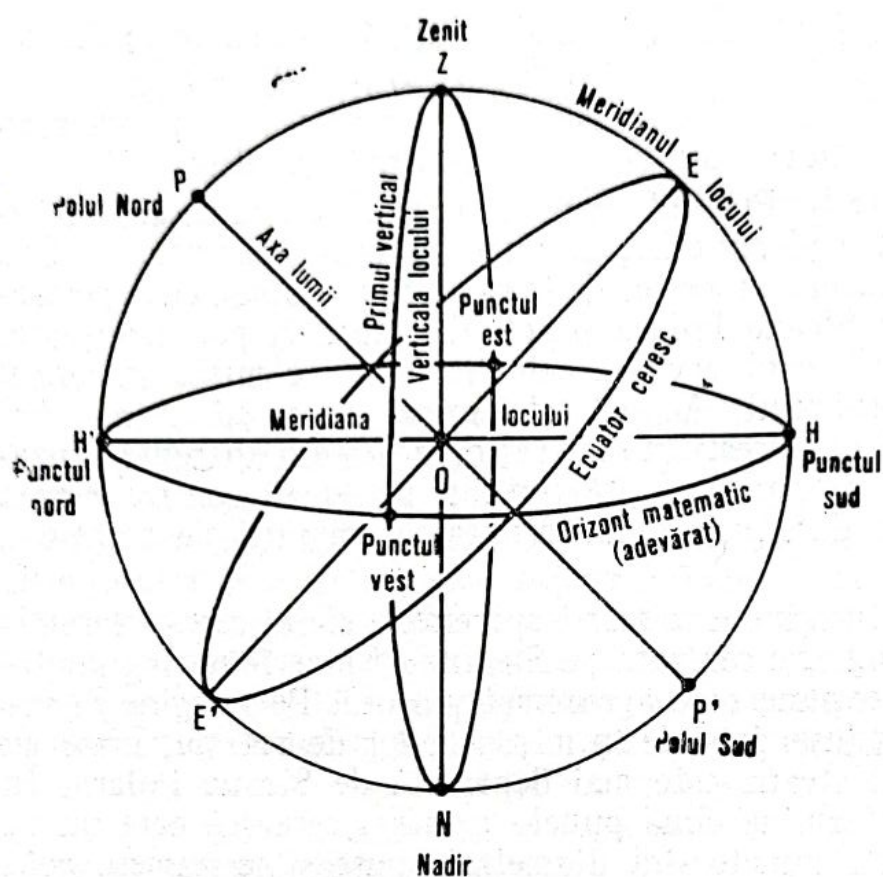


Fig. 6.2. Orizontul matematic și orizontul fizic.

format de către planul orizontului matematic cu cel fizic se numește *depresiunea orizontului*. Din $\triangle OBC$ se obține

$$R^2 + d^2 = (R + h)^2$$

$$d^2 = 2Rh + h^2 = 2Rh \left(1 + \frac{h}{2R} \right)$$

$$d = \sqrt{2Rh}$$

$$d = R \operatorname{tg} v = \sqrt{2Rh} \quad (6.1)$$

$$\operatorname{tg} v = v \cdot \operatorname{tg} 1' \approx \sqrt{\frac{2h}{R}} \quad (6.2)$$

considerînd $R = 6\,371 \text{ km}$, rezultă $v = 1,93 \sqrt{h}$.

Pentru un observator avînd înălțimea $h = 2 \text{ m}$ rezultă: $d = 7,6 \text{ km}$ și $v = 2',5$.

Planul dus prin centrul sferei cerești perpendicular pe axa lumii se numește *planul ecuatorului ceresc*. El taie sfera cerească după un cerc mare numit *ecuatorul ceresc*, care împarte sfera cerească în două emisfere: emisfera boreală (nordică) și emisfera australă (sudică).

Cele două drepte, axa lumii și verticala locului, determină un plan numit *planul meridian* al locului care taie sfera cerească după un cerc mare, numit *meridian ceresc*, iar planul orizontal după o linie numită *meridiana locului* ($H'H$). Meridiana locului taie orizontul în două puncte: cel mai apropiat de Polul Nord este *punctul nord* (H'), iar diametral opus lui este *punctul sud* (H). Pe orizont, la mijloc, între cele două puncte — în dreapta observatorului cu fața spre Polul Nord — este *punctul est* și diametral opus lui este *punctul vest*. Deci meridianul locului servește și pentru orientare într-un punct dat pe Pămînt.

Orice plan dus prin verticala locului se numește *plan vertical* și taie sfera cerească după un cerc mare numit vertical. Planul vertical perpendicular pe planul meridian al locului determină *primul vertical*.

În mișcarea diurnă, fiecare stea descrie cîte un cerc paralel cu ecuatorul numit *paralel ceresc*. Paralelul are cu meridianul două puncte comune numite *culminații* (fig. 6.3). În *culminația superioară* steaua atinge înălțimea cea mai mare deasupra orizontului, iar în *culminația inferioară* — dacă se vede — steaua are cea mai mică înălțime deasupra orizontului. Stelele pentru care se văd ambele culminații, au întreg paralelul lor deasupra orizontului; acestea sînt *stelele circumpolare*. Alte stele răsar, culminează și apun; sînt *stele cu răsărit și apus*.

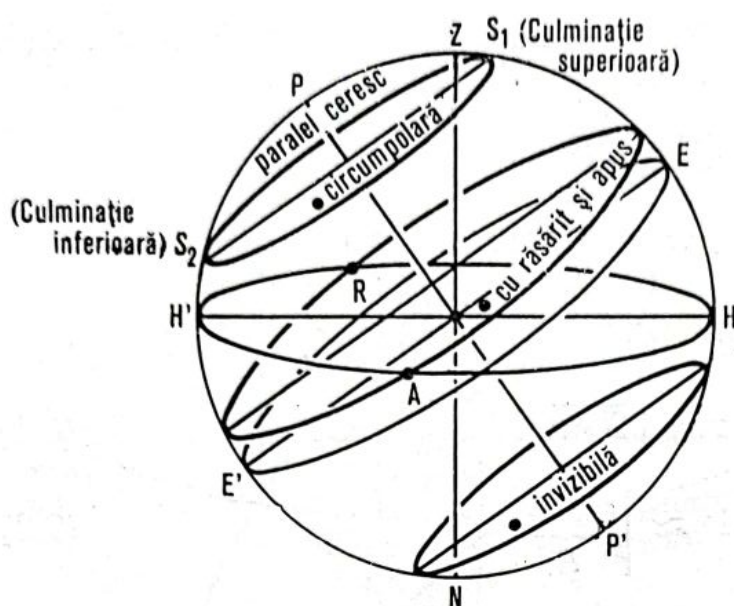


Fig. 6.3. Stele circumpolare și stele cu răsărit și apus.

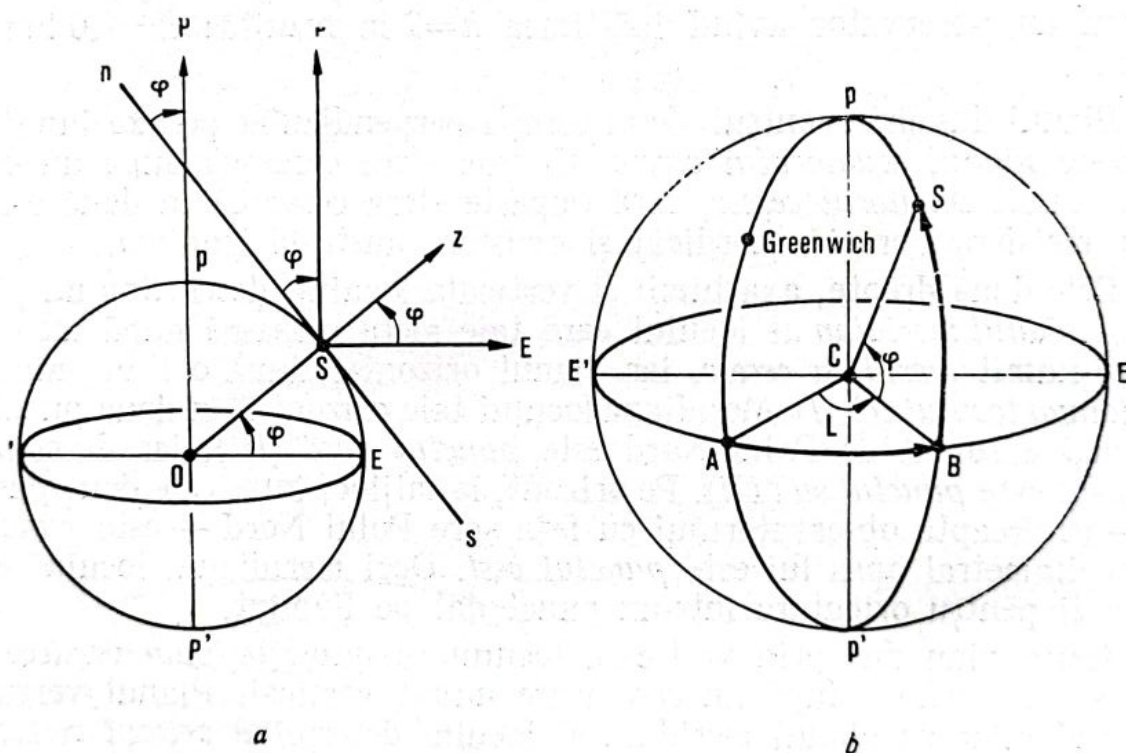


Fig. 6.4. Coordonatele geografice.

Latitudinea geografică a unui punct este unghiul format de planul ecuatorului cu verticala locului sau este înclinarea verticalei pe planul ecuatorului (sau înălțimea zenitului deasupra ecuatorului). Acest unghi este egal (figura 6.4 a) cu unghiul format de axa lumii cu planul orizontului, numit înălțimea polului deasupra orizontului. Deci înălțimea

polului deasupra orizontului este latitudinea geografică a locului. Latitudinea φ poate fi nordică sau sudică.

A doua coordonată pentru determinarea punctului de observație este unghiul format de primul meridian (de la Greenwich) cu meridianul locului numită *longitudine geografică* (figura 6.4 b). Longitudinea L poate fi vestică și estică.

Latitudinea și longitudinea geografică alcătuiesc *coordonatele geografice* ale unui punct de pe suprafața terestră.

6.2. COORDONATE CEREȘTI

După cum coordonatele geografice determină punctul de observație pe suprafața terestră, la fel se determină cu ajutorul coordonatelor cerești poziția unui punct pe sfera cerească. După necesitățile problemelor de astronomie, se utilizează mai multe sisteme de coordonate cerești.

Sistemul de coordonate orizontale. Pentru fiecare sistem de coordonate se consideră un plan fundamental (care taie sfera cerească după un cerc fundamental) și o axă fundamentală perpendiculară pe planul fundamental în centrul sferei cerești. În sistemul de coordonate orizontale (locale sau zenitale) planul fundamental este planul orizontului matematic, iar axa fundamentală este verticala locului. Coordonatele orizontale sînt (fig. 6.5):

— *Înălțimea deasupra orizontului* (h) este unghiul format de direcția spre astru cu planul orizontului. Se măsoară prin arcul verticalului

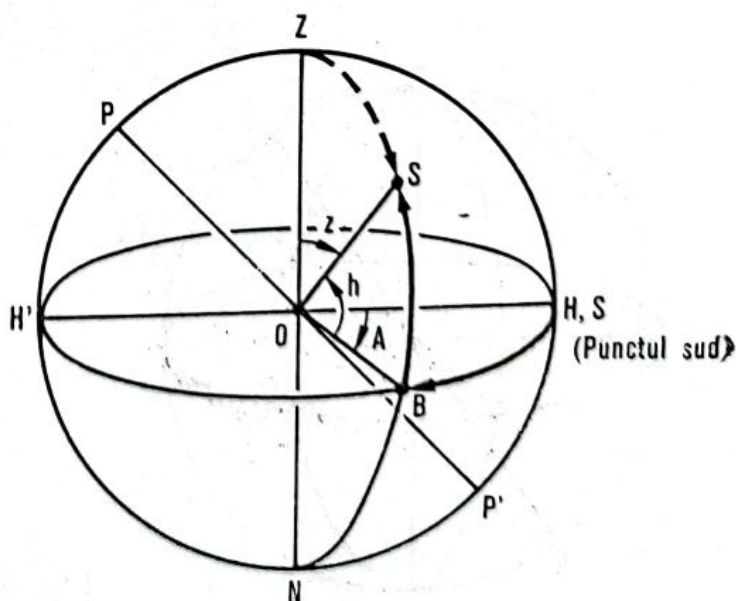


Fig. 6.5. Coordonatele orizontale.

corespunzător stelei de la orizont spre astru. Adesea în locul înălțimii, care este mai greu de măsurat deoarece orizontul este puțin accesibil datorită formelor și acoperirilor de teren, se utilizează complementul ei (Z)

$$Z = 90^\circ - h \quad (6.3)$$

numit *distanță zenitală* (unghiul format de verticala locului cu raza vizuală spre astru).

— *Azimutul* (A) este unghiul diedru format de planul meridianului cu planul vertical al astrului. Se măsoară prin arcul orizontului matematic cuprins între punctul sud (S) și punctul de intersecție (B) al verticalului astrului cu orizontul. Crește în sens retrograd de la 0° la 360° .

Coordonatele orizontale se determină cu instrumentul universal; fiind legate de verticala și meridianul locului, ele variază cu locul și momentul observației. De aceea nu sînt utilizate pentru cataloagele stelare, ci pentru probleme de ordin practic (a se vedea capitolul 7).

Sistemul de coordonate orare (semilocale). Planul fundamental este planul ecuatorului, iar axa fundamentală este axa lumii. Planul definit de axa lumii și astru se numește *planul orar* al astrului; el taie sfera cerească după un cerc numit *cercul orar* al stelei (sau cercul de declinație). Coordonatele orare ale unui astru sînt (figura 6.6):

— *Declinația* (δ) este unghiul format de raza corespunzătoare astrului cu planul ecuatorului. Se măsoară prin arcul de cerc orar de la ecuator la astru. Variază între 0° și $\pm 90^\circ$ (semnul $+$ în emisfera boreală). Astrul descriind în mișcarea diurnă un paralel, declinația nu variază cu timpul.

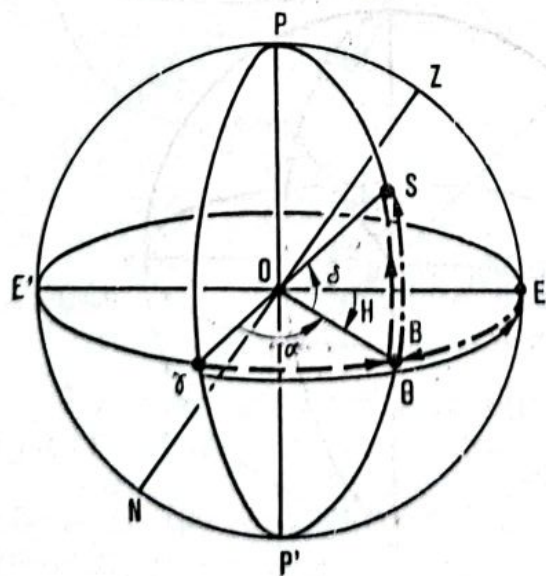


Fig. 6.6. Coordonatele orare și coordonatele ecuatoriale.

— *Unghiul orar (H)* este unghiul format de meridianul locului cu cercul orar al astrului. Se măsoară prin arcul de ecuator de la meridianul locului pînă la cercul orar al astrului. Crește cu timpul în mod uniform, de la 0° la 360° (în sens retrograd). Această proprietate foarte importantă face ca unghiul orar să fie utilizat pentru măsurarea timpului. Unghiurile orare se pot exprima și în unități de timp și anume: la 360° corespund 24^h , deci la $1^h \dots \frac{360^\circ}{24} = 15^\circ$, la $1^m \dots 15'$, la $1^s \dots 15''$ și invers la $1^\circ \dots \frac{24^h \times 60^m}{360^\circ} = 4^m$, la $1' \dots 4^s$, la $1'' \dots \frac{1}{15} s$.

Sistemul de coordonate ecuatoriale. Are același plan fundamental ca și cele orare. Declinația astrului fiind constantă se păstrează, unghiul orar însă se înlocuiește prin *ascensia dreaptă* a stelei. Se numește ascensie dreaptă α a unui astru, unghiul format de planul orar al punctului vernal γ cu planul orar al stelei și se măsoară în sens direct de la 0° la 360° (sau de la 0^h la 24^h) prin arcul de ecuator de la punctul vernal la cercul orar. Punctul vernal este punctul în care drumul aparent al Soarelui taie ecuatorul, cînd acesta trece din emisfera australă în cea boreală. Fiind un punct al sferei cerești, participă la mișcarea diurnă împreună cu astrul, deci ascensia dreaptă este constantă. Unghiul orar θ al punctului vernal γ se numește *timp sideral*. Se vede din figura 6.6 că $\theta = \alpha + H$, adică timpul sideral la un moment dat este suma ascensiei drepte și a unghiului orar al unui astru oarecare.

Fie S un astru în meridianul locului, la sud de zenit. Se vede imediat că (figura 6.7)

$$\varphi = \delta_1 + Z_{m_1}$$

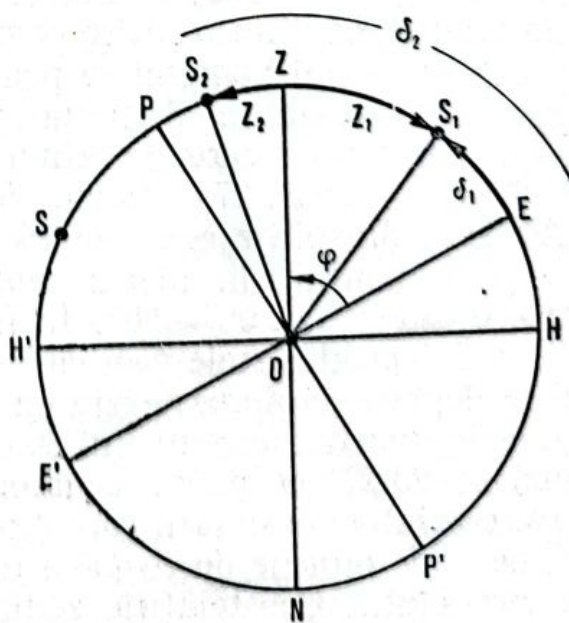


Fig. 6.7. Relația dintre latitudinea geografică, declinație și distanța zenitală meridiană.

unde φ — este latitudinea locului, δ — declinația stelei, iar Z_m — distanța zenitală măsurată în momentul trecerii prin meridianul locului. Dacă astrul se află la nord de zenit, S_2

$$\begin{aligned}\varphi &= \delta_2 - Z_{m_2} \text{ de unde} \\ \varphi &= \delta \pm Z_m\end{aligned}\quad (6.4)$$

formulă utilă pentru determinarea latitudinii.

Pentru ca o stea să fie circumpolară, este necesar ca, culminația sa inferioară să fie deasupra orizontului. Or, față de ecuator steaua are înălțimea egală cu declinația δ , iar orizontul formează cu ecuatorul unghiul $90^\circ - \varphi$. Deci condiția este ca

$$\delta \geq 90^\circ - \varphi. \quad (6.5)$$

Deci condiția ca o stea să fie circumpolară este

$$|\delta| \geq 90^\circ - \varphi$$

iar condiția ca o stea să fie cu răsărit și apus este

$$|\delta| \leq 90^\circ - \varphi. \quad (6.6)$$

6.3. MIȘCAREA ANUALĂ APARENTĂ A SOARELUI

Urmărind aspectul cerului în diferite luni la aceeași oră, seara, se constată că se schimbă. De exemplu, în fiecare lună la orele 21 mereu alte stele culminează. Variaza și înălțimea maximă a Soarelui deasupra orizontului. De aici ideea că Soarele se deplasează printre stele, executînd în timpul unui an o rotire completă. Dacă se determină zilnic coordonatele centrului Soarelui se poate obține variația poziției acestuia. Măsurînd în meridian distanța zenitală a Soarelui, se obține $\delta = \varphi - Z_m$, declinația care în timpul unui an variază între limitele $-23^\circ 27' \leq \delta \leq +23^\circ 27'$ trecînd de două ori prin fiecare valoare.

Ascensia dreaptă a centrului Soarelui, determinată cu ajutorul stelelor care culminează la miezul nopții, variază în timpul unui an între limitele $0^\circ - 360^\circ$ sau $0^h - 24^h$. În fiecare lună Soarele se deplasează în medie cu 30° printre stele (sau cu 2^h) în sensul contrar mișcării diurne. Pe zi se deplasează aproximativ cu 1° sau 4^m .

Locul geometric al centrului Soarelui timp de un an este un cerc mare înclinat cu $23^\circ 27'$ pe planul ecuatorului, numit *ecliptică*. Pe cer ecliptica trece printre constelații care din antichitate au primit nume de animale, de unde numele de *zodiac* a regiunii sferei cerești unde se află aceste constelații. Constelațiile zodiacale sînt în număr de 12 (pe cîte

30° longitudine). Ordinea lor, după cum Soarele trece în prezent prin ele, este

Primăvara	Peștii (Pisces) Berbecul (Aries) Taurul (Taurus)	Vara	Gemenii (Gemini) Cancerul (Cancer) Leul (Leo)
Toamna	Fecioara (Virgo) Balanța (Libra) Scorpionul (Scorpius)	Iarna	Săgetătorul (Sagittarius) Capricornul (Capricornus) Vărsătorul (Aquaris).

Ecliptica taie ecuatorul în două puncte diametral opuse numite *punctele echinocțiilor*: *punctul vernal* γ ($\alpha=0^h$, $\delta=0^\circ$), prin care Soarele trece din emisfera australă în cea boreală și *punctul autumnal* Ω ($\alpha=12^h$, $\delta=0^\circ$), prin care Soarele trece din emisfera boreală în cea australă (figura 6.8). Alte două puncte importante ale eclipticii sînt punctele unde declinația Soarelui ia valorile extreme numite *punctele solstițiilor*: *punctul solstițiilor de vară* ϵ ($\alpha=6^h$, $\delta=+23^\circ 27'$), unde declinația este maximă și *punctul solstițiului de iarnă* ϵ' ($\alpha=18^h$, $\delta=-23^\circ 27'$), unde declinația Soarelui este minimă. Aceste patru puncte principale împart ecliptica în patru arce, timpul necesar Soarelui de a parcurge fiecare arc fiind *anotimpul*.

Mișcarea anuală a Soarelui este o mișcare aparentă; mișcarea reală este mișcarea de revoluție a Pământului în jurul Soarelui, așa cum va

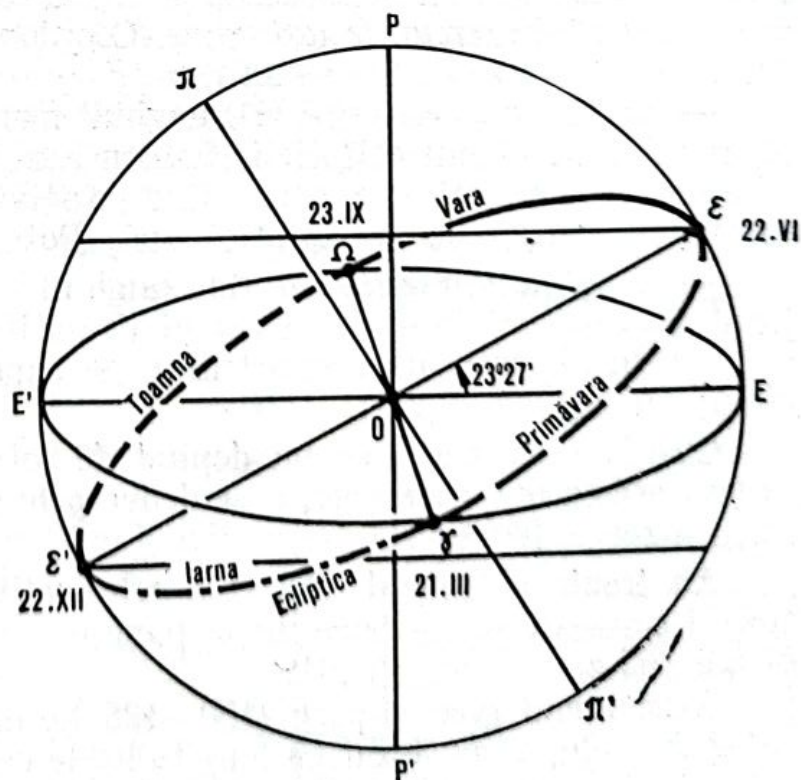


Fig. 6.8. Ecliptica și elementele ei.

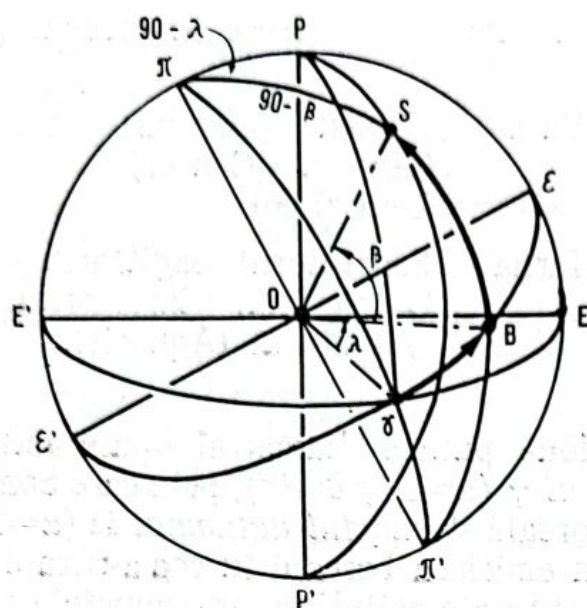


Fig. 6.9. Coordonatele ecliptice.

rezulta din elipsele de parallaxă stelară. Pământul se mișcă avînd axa mereu paralelă cu ea însăși și făcînd cu planul orbitei sale un unghi de $66^{\circ}33'$; deci planul eclipticii coincide cu planul orbitei Pământului.

Sistemul de coordonate ecliptice. Are ca plan fundamental planul eclipticii și ca axă, axa polilor eclipticii (perpendiculara în centrul sferei cerești pe planul eclipticii); are cu sfera cerească două puncte de intersecție, numite *polii eclipticii* π și π' . Cercul mare dus prin polii π , π' și astru este *cercul de latitudine*. Coordonatele ecliptice (figura 6.9) sînt:

— *Latitudinea ecliptică* (β), unghiul format de raza corespunzătoare astrului cu planul eclipticii. Este măsurată de arcul de cerc de latitudine de la ecliptică la astru, fiind pozitivă de la ecliptică spre Polul Nord și negativă de la ecliptică spre Polul Sud.

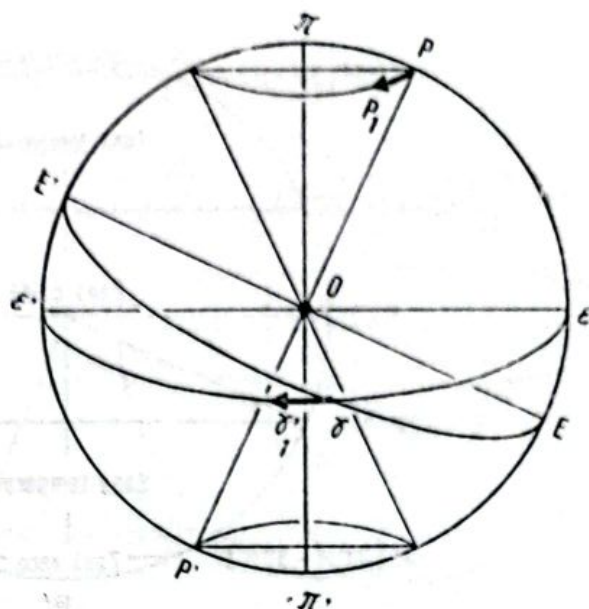
— *Longitudinea ecliptică* (λ), unghiul măsurat în sens direct în jurul polului eclipticii de la cercul de latitudine al punctului vernal γ , la cercul de latitudine al astrului. Se exprimă în grade (de la 0° la 360°) sau ore ($0^h - 24^h$).

Coordonatele ecliptice nu depind de rotația sferei cerești. Ele nu se măsoară cu instrumentele, ci se deduc prin calcul din cele ecuatoriale. Se utilizează la studiul mișcărilor Lunii și planetelor.

An tropic și sideral. Precesia echinocțiilor. Timpul dintre două treceri consecutive ale Soarelui la punctul vernal se numește *an tropic*; el are 365 zile $5^h 48^m 46^s,045$.

Astronomul grec Hiparh (190—125 î.e.n.), la întocmirea unui catalog de stele, a constatat că longitudinile ecliptice ale tuturor stelelor

Fig. 6.10. Fenomenul de precesie.



cresc în fiecare an cu $48''$. Conform datelor actuale punctul vernal se deplasează în sens retrograd cu $50'',2$ pe an, ieșind în calea Soarelui, de unde numele de *precesie* dat acestui fenomen (figura 6.10). Perioada ei este $\frac{360 \cdot 60 \cdot 60''}{50'',2} \approx 26\,000$ ani. Consecințele precesiei sînt:

— Deplasîndu-se punctul vernal, rezultă că planul ecuatorului, deci polii cerești (P, P') se deplasează descriind în timp de 26 000 ani un cerc în jurul polului ecliptic respectiv (π, π'). Din acest motiv se schimbă poziția polilor cerești, deci și aspectul cerului.

— În timpul unui an tropic Soarele nu execută o revoluție completă, ci $360^\circ - 50'',2$. Timpul unei revoluții complete este *anul sideral*; el are $365,2564\dots$ zile mijlocii = 365 zile $6^h 9^m 9^s$, deci cu aproximativ 20^m mai lung decît anul tropic.

Efectele mișcării anuale aparente a Soarelui. Axa de rotație diurnă este înclinată cu $23^\circ 27'$ (cu o variație $0'',5$ pe an) pe planul eclipticii și în timpul unei revoluții ea se deplasează paralel cu ea însăși, astfel rezultînd *anotimpurile* (figura 6.8).

Tabelul 6.1

Anotimpurile			
Perioada	În emisfera boreală	În emisfera australă	Durata
21 III—22 VI	Primăvara	Toamna	93 zile
22 VI—23 IX	Vara	Iarna	93 zile
23 IX—22 XII	Toamna	Primăvara	90 zile
22 XII—21 III	Iarna	Vara	89 zile

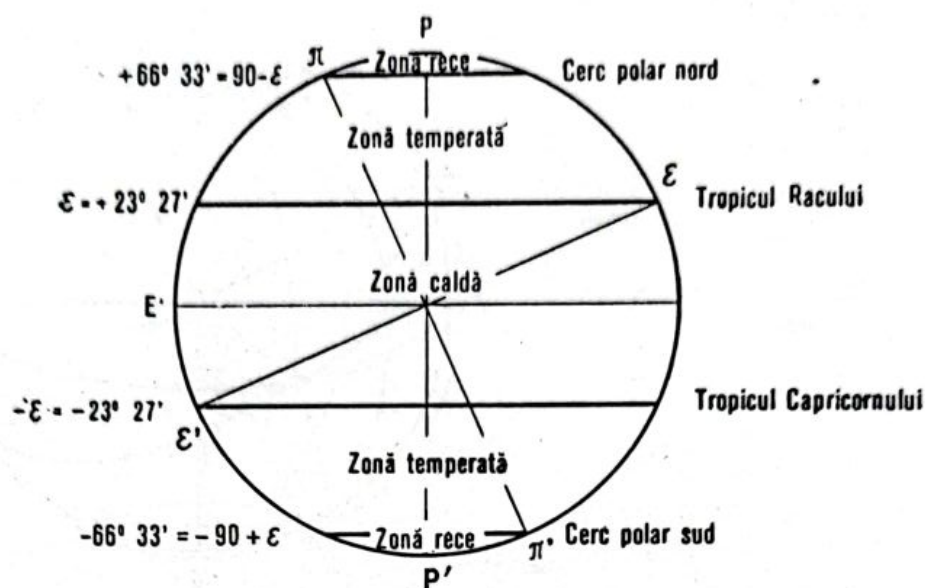


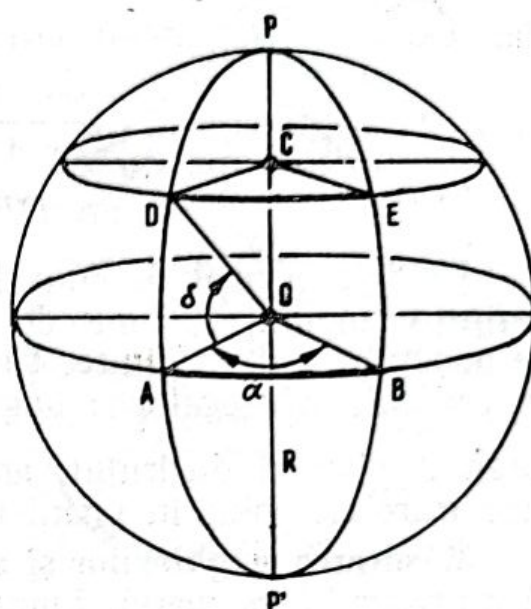
Fig. 6.11. Zonele climatice ale Pământului.

Durata anotimpurilor nu este egală, deoarece orbita Pământului este eliptică, iar viteza de mișcare nu este constantă. Soarele se află mai aproape de Pământ la 3 ianuarie (*perigeu*) și mai departe la 5 iulie (*apogeu*).

Zonele climatice (figura 6.11) sînt datorate mișcării anuale, de unde rezultă inegală încălzire a suprafeței terestre. Se numesc *tropice*, paralelele care corespund declinației celei mai mari și celei mai mici a Soarelui. Tropicul Racului corespunde la $\delta = \epsilon = +23^\circ 27'$ și Tropicul Capricornului la $\delta = \epsilon = -23^\circ 27'$. *Cercul polar* sînt paralelele corespunzătoare la $\delta = 90 - \epsilon$ și $\delta = -90 + \epsilon$. *Zona caldă (ecuatorială)* se întinde între cele două tropice și Soarele se află de două ori pe an la zenitul fiecărei localități. Deci razele solare cad aproape vertical, de unde încălzirea mare a regiunilor terestre. Zilele sînt aproape egale cu nopțile. *Zonele temperate* sînt cuprinse între tropice și cercurile polare, unde avem zile și nopți de lungimi diferite. *Zonele reci*, sau regiunile polare, sînt delimitate de cercurile polare. Soarele în timpul zilei de vară ajunge la mici înălțimi deasupra orizontului (la poli $h_{max} = \epsilon = 23^\circ 27'$), iar noaptea lungă crește spre pol.

Fenomenul zilelor și al nopților. Prin zi se înțelege durata vizibilității Soarelui, iar prin noapte durata invizibilității Soarelui. Durata zilei și a nopții în timp de un an este variabilă datorită mișcărilor Pământului și înclinării axei sale.

Fig. 6.12. Arce de cerc mare, de cerc mic și fus sferic.



6.4. NOȚIUNI DE TRIGONOMETRIE SFERICĂ

Geometria sferică. Se ocupă cu studiul figurilor așezate pe o sferă. Spre deosebire de geometria plană, liniilor le corespund arce de cercuri, deoarece intersecția sferei cu un plan este un cerc. Sînt două feluri de cercuri (figura 6.12): cercuri mari, cînd planul de secțiune trece prin centrul sferei și cercuri mici, al căror plan nu trece prin centrul sferei.

Un cerc mare este determinat prin două puncte cu condiția ca acestea să nu fie extremitățile unui diametru al sferei. Într-adevăr dacă pe o sferă sînt două puncte oarecare A și B , împreună cu centrul O determină un plan, a cărui intersecție cu sfera este un cerc mare și numai unul. Diametrul sferei, perpendicular pe planul cercului mare se numește *axa cercului*, iar extremitățile P și P' ale acestui diametru sînt *polii cercului*.

Măsura unui arc de cerc mic se poate exprima cu ajutorul măsurii arcului de cerc mare. În acest scop, fie cercul mare prin punctele A , B și polii P , P' . Se consideră un cerc mic cu centrul în C și paralel cu cercul mare AB . Cercurile mari PAP' și PBP' taie pe cercul mic arcul DE . Se obține

$$\text{arc } DE = CD \times \widehat{DCE}$$

$$\text{arc } AB = OA \times \widehat{AOB}$$

dar $\widehat{DCE} = \widehat{AOB}$ avînd laturile paralele

$$\frac{\text{arc } DE}{\text{arc } AB} = \frac{CD}{OA}$$

$$\text{arc } DE = \text{arc } AB \cos \delta. \quad (6.7)$$

Unghiul format de două linii trasate pe suprafața sferei este prin definiție unghiul mai mic de 180° format de tangentele la aceste linii în punctul lor de întîlnire. Unghiul sferic APB , exprimat în grade sau în radiani, este egal cu: unghiul diedru al planelor PAP' și PBP' ; unghiul plan al diedrului, anume $\widehat{AOB}$; arcul AB corespunzător de cerc mare cu polul în vîrfurile unghiului, exprimat în grade.

Măsurarea unghiurilor și arcelor de cercuri. Fie R raza sferei (deci și a oricărui cerc mare). Lungimea l în metri, a arcului corespunzător unghiului de α° este

$$l = \frac{\pi R \alpha^\circ}{180^\circ} \text{ metri} = \frac{\pi R \alpha'}{10\,800'} \text{ metri} = \frac{\pi R \alpha''}{64\,800''} \text{ metri}. \quad (6.8)$$

Unitățile de măsură pentru unghiuri și arce sînt: *gradul*, adică unghiul la centru corespunzător arcului egal cu a 360-a parte din lungimea cercului și *radianul*, adică unghiul la centru corespunzător arcului egal cu raza cercului. Un radian are valoarea: $57^\circ 17' 45'' = 57^\circ,2957795 = 3\,437',74677 = 206\,264'',8 = 3^h 49^m 17^s$.

Practic, se trece de la radiani la secunde de arc, înmulțind numărul de radiani cu 206 265.

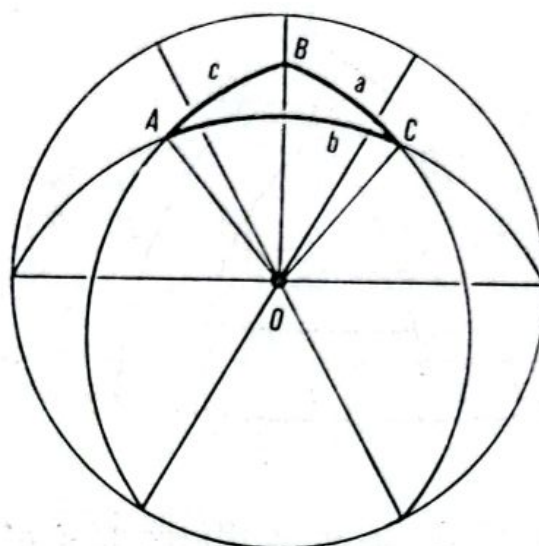
Fusul sferic este cea mai simplă figură de pe o sferă (figura 6.12). Este figura formată de două arce de cercuri mari. Elementele sale sînt: două laturi de cîte 180° și două unghiuri egale. Dat fiind unghiul A al unui fus sferic, i se poate determina aria. La unghiul 2π corespunde aria $4\pi R^2$, iar la unghiul α corespunde aria $\frac{4\pi R^2}{2\pi} \alpha$ deci

$$S_\alpha = 2R^2 \cdot \alpha. \quad (6.9)$$

Aria fusului sferic este proporțională cu unghiul său.

Trigonometria sferică. Se ocupă cu studiul triunghiului sferic. Se numește *triunghi sferic* figura de pe sferă formată din trei arce de cercuri mari neconcurente. Elementele lui sînt: trei unghiuri și trei laturi. Laturile se exprimă prin unități de arc, deoarece raza sferei fiind arbitrară se poate considera egală cu unitatea. În acest mod, avînd pentru toate elementele un singur sistem de unități de măsură, se realizează o omogenitate a formulelor, neîntîlnită în trigonometria plană. Într-un triunghi sferic, fiecare unghi și fiecare latură este mai mică de 180° .

Fig. 6.13. Triunghiul sferic și triedrul corespunzător lui.



Se înțelege prin latură a triunghiului sferic arcul $AB \leq 180^\circ$. La fel și pentru unghi.

Triedrul corespunzător triunghiului sferic ABC (figura 6.13) este triedrul obținut prin unirea vîrfurilor acestuia cu centrul O al sferei. O latură a triunghiului este un arc de cerc mare cuprins între două muchii, deci măsura lui este măsura feței corespunzătoare a triedrului. Un unghi al triunghiului are ca măsură unghiul diedru corespunzător al triedrului. Rezultă că o latură este mai mică decît suma celorlalte două, iar suma laturilor este mai mică de 360° , adică $a + b + c \leq 360^\circ$. În cazul egalității, triedrul se reduce la un plan. Dacă un unghi este 90° triunghiul va fi dreptunghic; dacă o latură este 90° triunghiul va fi rectilater. Sînt *triunghiuri tridreptunghice* și *trirectilatre*; spre exemplu triunghiul format de ecuator și două meridiane perpendiculare (de ecuator, meridianul de 0° și cel de 90°).

Triunghiul polar al unui triunghi dat este triunghiul sferic ale cărui laturi au ca pol vîrfurile triunghiului dat. Laturile triunghiului polar sînt suplimentele unghiurilor corespunzătoare ale triunghiului dat și invers. Prelungind laturile AB și AC pînă taie latura $B'C'$ a triunghiului polar în D și E (figura 6.14) se obține

$$a' = B'E + EC' = 90^\circ + 90^\circ - A = 180^\circ - A.$$

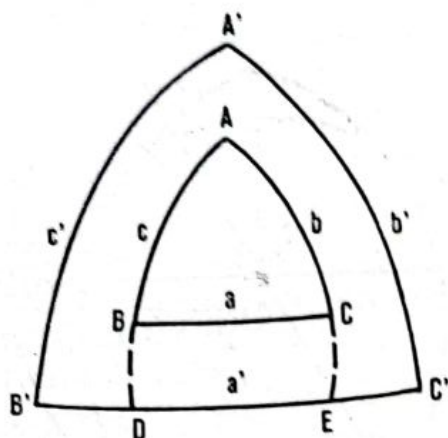
În mod analog

$$\begin{array}{lll} a' = 180^\circ - A & b' = 180^\circ - B & c' = 180^\circ - C \\ A' = 180^\circ - a & B' = 180^\circ - b & C' = 180^\circ - c. \end{array} \quad (6.10)$$

Se poate arăta ușor că și triunghiul $A'B'C'$ are drept triunghi polar triunghiul dat ABC . Dacă triunghiul dat este dreptunghic, polarul său e rectilater. Pornind de la inegalitatea $a < b' + c'$ se obține

$$180^\circ - A < 180^\circ - B + 180^\circ - C, \text{ de unde } B + C < A + 180^\circ.$$

Fig. 6.14. Triunghiul polar al unui triunghi dat.



Pornind de la inegalitatea $0^\circ < a' + b' + c' < 360^\circ$ avem

$$0^\circ < 180^\circ - A + 180^\circ - B + 180^\circ - C < 360^\circ \quad (6.11)$$

de unde $A + B + C < 540^\circ$ și $A + B + C > 180^\circ$. Deci suma unghiurilor unui triunghi sferic este cuprinsă între 180° și 540° . Se numește *exces sferic* diferența

$$2E = A + B + C - 180^\circ. \quad (6.12)$$

Deci $A + B + C = 180^\circ + 2E$ este o proprietate caracteristică triunghiului sferic.

Fie triunghiul ABC pe sfera de rază R . Suma ariilor celor trei fuse care au ca unghiuri pe acele ale triunghiului acoperă emisfera vizibilă plus încă de două ori suprafața T a triunghiului. Deci

$$2R^2(A + B + C) = 2\pi R^2 + 2T$$

$$R^2(A + B + C - \pi) = T$$

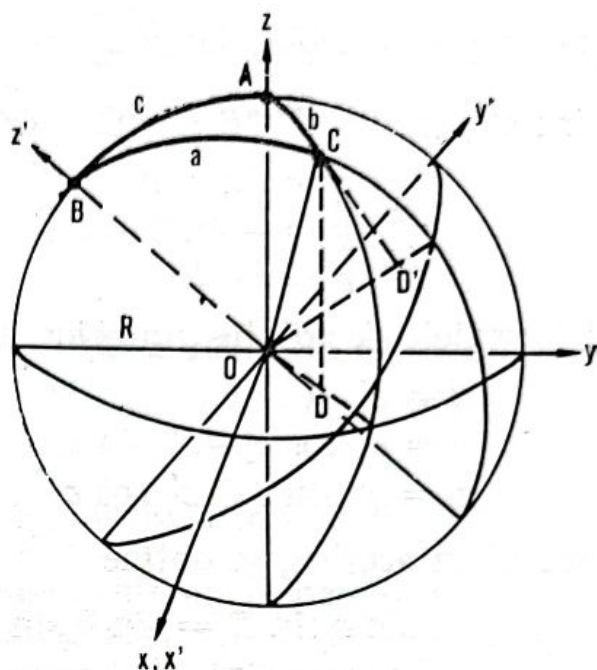
$$2ER^2 = T \quad \text{de unde}$$

$$2E = \frac{T}{R^2}. \quad (6.13)$$

De aici avem un mijloc de a determina excesul sferic. Orice triunghi de pe suprafața terestră este sferic. Practic însă, triunghiul este plan cît timp excesul său sferic este mai mic decît suma erorilor de măsurare a celor trei unghiuri. De exemplu, într-un triunghi avînd două laturi de cîte 1° și unghiul dintre ele de 60° , se poate evalua aria lui după formulele trigonometrice plane

$$S = \frac{1}{2} \frac{\pi}{180} \frac{\pi}{180} \sin 60^\circ = \frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{180} \right)^2 \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 206\,265'' = 27'',2 = 2E. \quad (6.14)$$

Fig. 6.15. Legătura între unghiuri și laturi.



Pe suprafața terestră un arc de meridian de 1° are aproximativ 110 km, iar excesul sferic de $27''$ corespunde unui triunghi cu laturile de circa 100 km.

Formulele fundamentale (Gauss). Fie triunghiul ABC așezat pe sfera de rază $R=1$, cu centrul în O și $OABC$ triedrul corespunzător (figura 6.15). Se consideră două sisteme de axe de coordonate cu centrul în O :

— primul sistem avînd axa Oz în direcția OA , axa Oy perpendiculară pe Oz în planul cerului AB , de cealaltă parte a lui Oz față de B , iar axa Ox perpendiculară pe planul yOz de aceeași parte cu C ;

— al doilea sistem avînd axa Oz' în direcția OB , axa Oy' în planul cerului AB astfel ca $\widehat{y'Oy'} = \widehat{z'Oz'}$; axa Ox' identică cu Ox . Fie D și D' proiecțiile vîrfului C pe planele xOy și $x'Oy'$. Coordonatele lui C în cele două sisteme de coordonate vor fi

$$\begin{aligned} x &= OC \cos \widehat{xOD} \sin \widehat{COA} & x' &= OC \cos \widehat{xOD'} \sin \widehat{COB} \\ y &= OC \sin \widehat{xOD} \sin \widehat{COA} & y' &= OC \sin \widehat{xOD} \sin \widehat{COB} \\ z &= OC \cos \widehat{COA} & z' &= OC \cos \widehat{COB} \end{aligned}$$

unde $OC = 1$. Dar $\widehat{xOD} = A - \frac{\pi}{2}$, deoarece A este unghiul diedru al

planelor yOz și DOA , iar $\widehat{xOD'} = \frac{\pi}{2} - B$, deoarece B este unghiul diedru al planelor $D'OB$ și $y'Oz'$; $\widehat{COA} = b$ și $\widehat{COB} = a$. Rezultă

$$\begin{aligned} x &= \sin b \sin A & x' &= \sin a \sin B \\ y &= -\sin b \cos A & y' &= \sin a \cos B \\ z &= \cos b & z' &= \cos a. \end{aligned}$$

Din formulele de rotație a arcelor în jurul lui Ox , de unghiul c , avem

$$\begin{aligned} x &= x' & x' &= x \\ y &= y' \cos c - z' \sin c & y' &= \cos c + z \sin c \\ z &= y' \sin c + z' \cos c & z' &= -y \sin c + z \cos c. \end{aligned}$$

Înlocuind în acestea, se obține

$$\begin{aligned} \sin a \sin B &= \sin b \sin A \\ \sin a \cos B &= \cos b \sin c - \sin b \cos c \cos A \\ \cos a &= \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A. \end{aligned}$$

De aici formulele lui Gauss

$$\begin{aligned} \text{I. } \cos a &= \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A & \text{între 1 + 3 elemente;} \\ \text{II. } \sin a \cos B &= \cos b \sin c - \sin b \cos c \cos A & \text{între cinci elemente consecutive;} \\ \text{III. } \sin a \sin B &= \sin A \sin b & \text{între 2 + 2 elemente.} \end{aligned} \quad (6.15)$$

Prin permutări circulare se pot obține încă două grupe de formule. Împărțind II cu III

$$\begin{aligned} \cotg B &= \frac{\cotg b \sin c - \cos c \cotg A}{\sin A} & \text{de unde} \\ \cos c \cos A &= \sin c \cotg b - \sin A \cotg B & (6.16) \\ & \text{între patru elemente consecutive.} \end{aligned}$$

Aplicînd formulele lui Gauss la triunghiul polar $A'B'C'$ se obține

$$\begin{aligned} \cos a' &= \cos b' \cos c' + \sin b' \sin c' \cos A' \\ \sin a' \cos B' &= \cos b' \sin c' - \sin b' \cos c' \cos A' \\ \sin a' \sin B' &= \sin A' \sin b' \\ \cos a' \cos B' &= \sin a' \cotg c' - \sin B' \cotg C' \end{aligned}$$

de unde

$$\begin{aligned}\cos A &= \cos B \cos C - \sin B \sin C \cos a \\ \sin A \cos b &= \cos B \sin C - \cos C \sin B \cos a \\ \sin A \sin b &= \sin a \sin B \\ \cos A \cos b &= -\sin A \cotg C + \sin b \cotg C.\end{aligned}$$

Deci avem

$$\text{IV. } \cos A = -\cos B \cos C + \sin B \sin C \cos a \quad (6.17)$$

$$\begin{array}{l} \text{V. } \sin A \cos B = \cos B \sin C + \cos C \sin B \cos a \\ \sin A \sin b = \sin a \sin B \\ \cos b \cos A = \sin b \cotg c - \sin A \cotg C \end{array} \quad (6.18)$$

care se obțin din formulele lui Gauss schimbând literele mici în mari și invers și schimbând semnul la cos și păstrând semnele la sin.

Neajunsul formulelor I, II, III, IV, V constă în faptul că ele nu sînt calculabile prin logaritmi. Membrul al doilea al lor are forma generală

$$P \cos \varphi \mp Q \sin \varphi$$

$$P \sin \varphi \pm Q \cos \varphi,$$

punînd $P = m \cos M$ și $Q = m \sin M$, în care $m^2 = P^2 + Q^2$ și $\cotg M = \frac{P}{Q}$ formulele devin

$$\begin{array}{l} m \cos (\varphi \pm M) \\ m \sin (\varphi \pm M) \end{array} \quad (6.19)$$

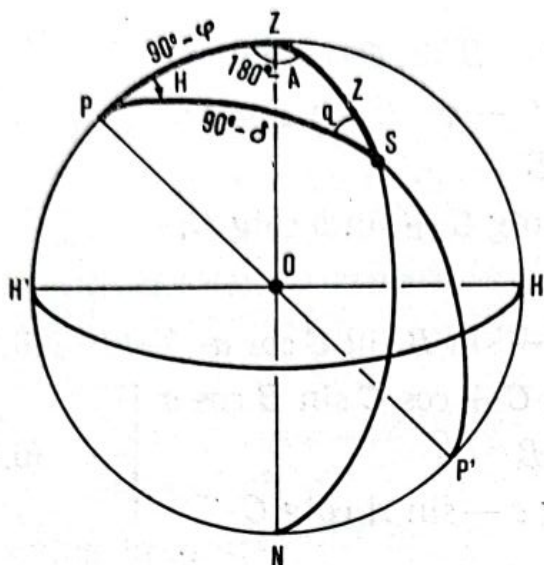
calculabile prin logaritmi.

6.5. TRANSFORMAREA COORDONATELOR

După instrumentele de observare de care dispunem și tehnica utilizată, se obțin prin observații un sistem sau altul de coordonate, dar oricare ar fi acesta, se pot obține coordonatele unui astru S în oricare din sistemele amintite, cu ajutorul formulelor de transformare a coordonatelor. Problema transformării coordonatelor se reduce la rezolvarea unor triunghiuri sferice, numite triunghiuri de poziție.

Trecerea de la coordonatele orizontale (A, Z) la cele orare (H, δ). Fie un loc de observație pe Pămîntul din O (cu dimensiuni neglijabile

Fig. 6.16. Relații între coordonatele
orizontale și cele orare.



față de cele ale sferei cerești), loc marcat prin verticala ZN și Pământul prin axa lumii PP' . Ducînd cercul vertical ZSN și cercul orar PSP' al astrului S , s-a legat poziția lui de zenit și pol prin triunghiul PZS numit *triunghi de poziție al astrului*. Conform definițiilor de la punctul 6.3 elementele acestuia sînt (figura 6.16): $PZ=90^\circ-\varphi$, complementul latitudinii geografice; $ZS=Z$, distanța zenitală; $PS=90^\circ-\delta$, complementul declinației; $\widehat{PZS}=180^\circ-A$, suplimentul azimutului; $\widehat{ZPS}=H$, unghiul orar; $\widehat{ZSP}=q$, unghiul numit paralactic. Se consideră date A , Z și φ . Scriind formulele lui Gauss pentru H și δ , se obține

$$\sin \delta = \cos z \sin \varphi - \sin z \cos \varphi \cos A$$

$$\cos \delta \cos H = \cos z \cos \varphi + \sin z \sin \varphi \cos A$$

$$\cos \delta \sin H = \sin z \sin A.$$

Pentru a face calculabile prin logaritmi primele două formule, se utilizează substituția indicată la sfârșitul subcapitolului 6.4

$$\cos z = m \cos M \quad \text{și} \quad \sin z \cos A = m \sin M, \text{ din care}$$

$$\operatorname{tg} M = \operatorname{tg} z \cos A.$$

Formulele de mai sus devin

$$\sin \delta = m \sin (\varphi - M)$$

$$\cos \delta \cos H = m \cos (\varphi - M)$$

$$\cos \delta \sin H = \sin z \sin A$$

împărțind relația a treia cu a doua și a doua cu prima se obține

$$\operatorname{tg} H = \frac{\sin M}{\cos (\varphi - M)} \operatorname{tg} A \text{ și } \operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} (\varphi - M) \cos H \quad (6.20)$$

unde $\operatorname{tg} M = \operatorname{tg} z \cos A$.

Invers, pentru trecerea de la coordonatele orare la cele horizontale se folosește același triunghi de poziție cu formulele lui Gauss scrise pentru A și Z . Se obține

$$\operatorname{tg} A = \frac{\cos M}{\sin (\varphi - M)} \operatorname{tg} H \text{ și } \operatorname{tg} Z = \frac{\operatorname{tg} (\varphi - M)}{\cos A} \quad (6.21)$$

unde $\operatorname{tg} M = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\cos H}$.

Trecerea de la coordonate horizontale la cele ecuatoriale (α, δ). După ce se obțin coordonatele orare, cu ușurință se deduc din acestea cele ecuatoriale: declinația se cunoaște de la coordonatele orare, iar ascensia α se deduce din unghiul orar H pentru momentul sideral θ al observației

$$\theta = \alpha + H \text{ și } \alpha = \theta - H. \quad (6.22)$$

Trecerea de la coordonate ecuatoriale la cele eliptice (λ, β). Raza $O\gamma$ corespunzătoare punctului vernal γ , intersecția planului ecuatorial EE' cu planul eclipticii $\varepsilon\varepsilon'$, este perpendiculară pe planul figurii, determinat de axa lumii PP' și axa polilor eclipticii $\pi\pi'$. Astrul S este fixat prin triunghiul de poziție πSP cu elementele (figura 6.9): $\pi P = \varepsilon$, înclinarea eclipticii pe ecuator; $PS = 90 - \delta$, complementul declinației; $\pi S = 90 - \beta$, complementul latitudinii cerești; $P\pi S = 90 - \lambda$, complementul longitudinii cerești; $\pi PS = 90 + \alpha$, ascensia mărită cu 90° . Aplicând formulele lui Gauss pentru elementele $90 - \lambda$ și $90 - \beta$

$$\begin{aligned} \sin \beta &= \sin \delta \cos \varepsilon - \cos \delta \sin \varepsilon \sin \alpha \\ \cos \beta \sin \lambda &= \sin \delta \sin \varepsilon + \cos \delta \cos \varepsilon \sin \alpha \\ \cos \beta \cos \lambda &= \cos \alpha \cos \delta \end{aligned}$$

care, prin substituția $\sin \delta = m \sin M$ și $\cos \delta \sin \alpha = m \cos M$, devin

$$\begin{aligned} \sin \beta &= m \sin (M - \varepsilon) \\ \cos \beta \sin \lambda &= m \cos (M - \varepsilon) \\ \cos \beta \cos \lambda &= \cos \alpha \cos \delta \end{aligned}$$

din care rezultă

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\cos (M + \varepsilon)}{\cos M} \operatorname{tg} \lambda \text{ și } \operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} (M + \varepsilon) \sin \alpha \quad (6.23)$$

unde $\operatorname{tg} M = \operatorname{tg} \beta / \sin \lambda$. Transformarea inversă se face pe aceeași cale.

6.6. VARIAȚIA COORDONATELOR CEREȘTI

La definirea coordonatelor cerești s-a văzut că sistemul de coordonate orizontale, ca și unghiul orar, variază periodic datorită mișcării de rotație a Pământului (întrucât planele lor fundamentale — planul meridian și planul orizontal — legate de locul de observație, participă la mișcarea de rotație a Pământului). Coordonatele ecuatoriale și cele ecliptice, raportate la planul ecuatorului ceresc și la planul eclipticii (nelegate de mișcarea de rotație) s-au considerat fixe. Din observații însă rezultă că și acestea din urmă variază încet datorită următorilor factori:

- deplasarea sistemului de coordonate față de stele (precesia și nutația) și față de Pământul considerat solid (deplasarea polului);
- deplasările aparente ale direcțiilor stelelor din cauza unor fenomene fizice (refracția, aberația și paralaxa);
- deplasarea reală a stelelor în spațiu (mișcarea proprie).

Întrucât aceste deplasări pot produce erori apreciabile în determinarea coordonatelor geografice, este necesar să se țină cont de efectul lor spre a le evita.

Deplasarea sistemului de coordonate. Se datorează în general acțiunii perturbatoare a corpurilor din sistemul solar — în special a Lunii și a Soarelui — asupra Pământului nesferic și avînd masa neuniform distribuită.

Precesia și nutația. Pentru fenomenele care depășesc cîteva ore sau zile planele fundamentale nu mai pot fi considerate invariabile.

Față de ecliptica fixă, ecuatorul retrogradează cu $50''$ pe an. Polul descrie un cerc mic în jurul polului eclipticii, cu o perioadă de 26 000 ani. De aici necesitatea reducerii coordonatelor la același echinocțiu și la același ecuator, în vederea comparării lor.

Pe baza observațiilor stelei γ Draconis, Bradley (1725) a dedus o deplasare periodică a polului, denumită *nutație* (cu perioadă de 18,6 ani). Polul care se mișcă cu $50''$ pe an în urma precesiei este centrul unei elipse pe care polul adevărat se mișcă retrograd. Semiaxe sînt: cea îndreptată spre π este de $9'',21$ (constanta de nutație), cealaltă este $6'',86$.

Trecerea de la coordonatele adevărate la cele medii date de catalog pentru o epocă dată și invers, se face aplicînd corecțiile de precesie și nutație.

Cataloagele stelare indică poziții medii raportate la ecuatorul și ecliptica medie corespunzătoare unei epoci date T_0 (de exemplu la 1900,0, 1950,0 etc.). Pentru aflarea coordonatelor adevărate la momentul T , se fac două reduceri: reducerea la începutul anului respectiv (al lui T) și reducerea la data T (în cursul anului).

Mișcarea polului. Numită impropriu variația latitudinii (deoarece variază atât longitudinea cât și azimutul) reprezintă deplasarea polului ceresc adevărat (punctul unde axa instantanee de rotație a Pământului intersectează sfera cerească) în raport cu un punct de referință fix. Evidența acestei mișcări a fost stabilită de Küstner (la Berlin) pe baza observațiilor de latitudine (1884). Interpretarea ei corectă a fost obținută de Chandler pe baza analizei rezultatelor acumulate și din clasificarea dinamică a acestor rezultate de către Newcomb. Chandler a stabilit că mișcarea polului este rezultatul a două mișcări:

— o mișcare de revoluție a polului adevărat în jurul axei principale a momentului de inerție, în sens contrar acelor ceasornicului (dacă privim dinspre nord) cu o perioadă de 1,2 ani, care poate fi explicată prin structura elastică a Pământului și prin deplasarea axei momentului maxim de inerție;

— o mișcare de revoluție în același sens cu o perioadă de un an care ar putea fi datorată redistribuției continue a masei ce are loc anual în procesele meteorologice și geofizice.

Pentru studiul mișcării polului, în ultimele decenii au fost organizate: Serviciul internațional al mișcării polului (International Polar Motion Service, IPMS) cu sediul la Mizusawa Observatory (Japonia) și Serviciul rapid de latitudine din cadrul Biroului internațional al orei (BIH) cu sediul la Paris, pentru a stabili coordonatele instantanee ale polului, în vederea corecției de oră. La aceste servicii participă circa 30 de observatoare care efectuează determinări continue de timp și latitudine și cinci stații IPMS având aproximativ aceeași latitudine. Ambele servicii publică coordonatele x_p și y_p , în secunde de arc, ale polului instantaneu în raport cu un pol mediu terestru ($x_p > 0$ spre Greenwich, iar $y_p > 0$ spre vest). Poziția polului mediu de referință se stabilește ca fiind media observațiilor acumulate timp de șase ani. Pe baza observațiilor a 30 de stații, BIH publică coordonatele preliminare, apoi pe cele definitive ale polului ceresc adevărat, raportate la poziția medie a polului adevărat din timpul unei perioade Chandler (1,2 ani). Dar pozițiile medii pe perioade de șase ani prezintă deplasări între $0'',003$ — $0'',006$ pe an, de unde ideea existenței unei deplasări seculare a polului (cauzate probabil de deplasări orizontale ale scoarței terestre sau variații ale direcției verticalei punctelor de observare). În ultimii ani a fost confirmată existența mișcării seculare a polului și pentru studiul ei s-a decis ca IPMS să adopte ca punct de referință poziția medie a polului adevărat în perioada 1900—1905, adică pentru epoca 1903.

În figura 6.17 se dă deplasarea polului adevărat în perioada 1962,0—1967,0 în raport cu sistemul terestru 1900—1905.

Din cele expuse rezultă deplasarea în timp a polului adevărat în raport cu un punct al Pământului solid. Pentru omogenizarea lor cocordo-

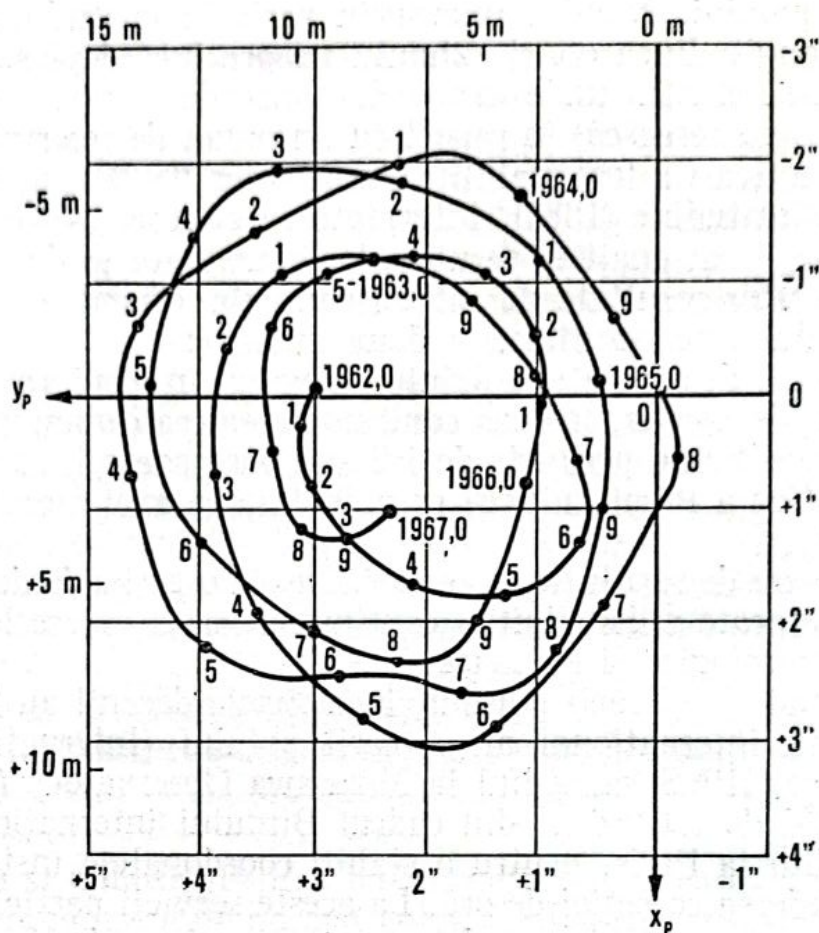


Fig. 6.17. Deplasarea polului (după Mueller) în perioada 1962,0—1967,0.

natele geografice determinate la un moment dat se fac independente de timp, adăugându-le condițiile de mișcare a polului.

Fie localitatea C cu coordonatele geografice L și φ față de polul instantaneu P și L_0 , φ_0 față de polul mediu P_0 (figura 6.18). Se notează cu x_p și y_p coordonatele lui P față de P_0 . Trebuie găsite corecțiile ΔA , $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_0$ și $\Delta L = L - L_0$ pentru azimutul și coordonatele geografice ale localității C . Fie P_0G primul meridian (Greenwich). Din triunghiul sferic CPP_0

$$\frac{\sin PP_0}{\sin \Delta A} = \frac{\sin (90 - \varphi)}{\sin (\theta - L_0)}.$$

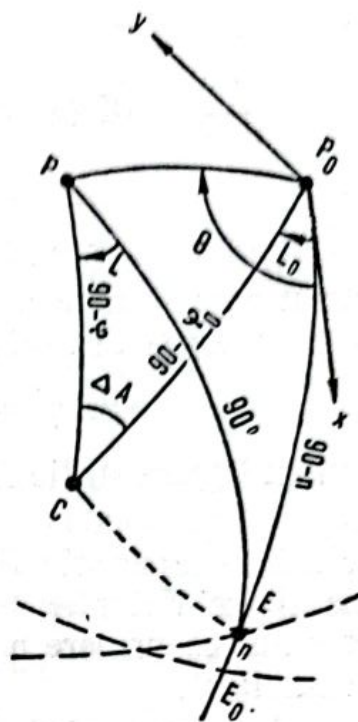
Considerînd că arcele mici sînt egale cu sinusurile lor

$$\Delta A \cos \varphi = PP_0 \sin (\theta - L_0) = PP_0 (\sin \theta \cos L_0 - \cos \theta \sin L_0).$$

Dar în planul tangent xP_0y , $x_p = PP_0 \cos \theta$ și $y_p = PP_0 \sin \theta$; deci corecția de azimut este

$$\Delta A = (-x_p \sin L_0 + y_p \cos L_0) \sec \varphi. \quad (6.24)$$

Fig. 6.18. Determinarea mișcării polului.



Din același triunghi

$$\sin PP_0 \cos (\theta - L_0) = \sin \varphi \cos \varphi_0 - \cos \varphi \sin \varphi_0 \cos \Delta A$$

dar $\cos \Delta A \approx 1$, deci

$$PP_0 \cos (\theta - L_0) = \sin (\varphi - \varphi_0) = \Delta \varphi$$

de unde corecția în latitudine este

$$\Delta \varphi = x_p \cos L_0 + y_p \sin L_0. \quad (6.25)$$

Pentru corecția în longitudine, din triunghiul CPE și CP_0E se obține

$$\cos CE = \cos \varphi \cos L = \sin \varphi_0 \sin n + \cos \varphi_0 \cos n \cos L_0.$$

Dezvoltînd în serie Taylor $\cos \varphi$ și $\cos L$ și neglijînd termenii de ordin superior, se obține

$$\cos \varphi = \cos \varphi_0 - \sin \varphi_0 \Delta \varphi$$

$$\cos L = \cos L_0 - \sin L_0 \Delta L.$$

Pe de altă parte, din triunghiul EPP_0

$$\sin PP_0 \cos \theta = -\sin n \cos E$$

$$x_p = -\sin n, \text{ iar } \cos n \approx 1$$

$$(\cos \varphi_0 - \sin \varphi_0 \Delta \varphi) (\cos L_0 - \sin L_0 \Delta L) = x_p \sin \varphi_0 + \cos \varphi_0 \cos L_0$$

de unde

$$\Delta L = \operatorname{tg} \varphi_0 \left[-x \frac{\cos^2 L_0}{\sin L_0} - y_p \cos L_0 + \frac{x_p}{\sin L_0} \right]$$

$$\Delta L = \operatorname{tg} \varphi_0 [x_p \sin L_0 \cos L_0]. \quad (6.26)$$

În relațiile 6.24, 6.25 și 6.26, intră coordonatele x_p și y_p ale polului instantaneu care se determină astfel: cu ajutorul stațiilor de latitudine se determină $\Delta \varphi$ și din relația

$$\Delta \varphi^i = x_p \cos L_0^i + y_p \sin L_0^i$$

scrisă pentru fiecare stație i , prin metoda celor mai mici pătrate se deduc x_p și y_p .

Deplasările aparente ale direcțiilor stelelor au loc din cauza unor fenomene fizice datorite atmosferei terestre (refracția) sau deplasării observatorului ca urmare a mișcărilor reale ale Pământului (paralaxa și aberația luminii).

Refracția astronomică. În spațiul interstelar materia fiind foarte rarefiată se poate considera că acest spațiu constituie un mediu omogen în care razele luminoase se propagă în linie dreaptă. Deci, o rază luminoasă emisă de un astru este rectilinie pînă ajunge la atmosferă. Atmosfera, însă, este un mediu neomogen; datorită atracției Pământului, fiecare strat exercită o presiune asupra celor inferioare lui, de unde rezultă o creștere a densității pe măsura apropierii de suprafața Pământului. De aceea în interiorul atmosferei raza este deviată mereu, descriind o curbă, pînă ajunge în ochiul observatorului în A (figura 6.19). Acesta vede astrul în direcția tangentei în punctul final al razei, adică în direcția

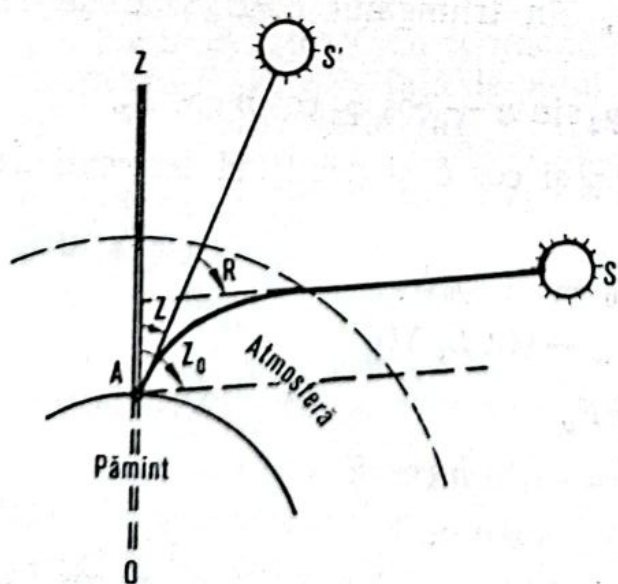


Fig. 6.19. Refracția astronomică.

aparentă AS' , la *distanța zenitală aparentă* $Z = ZAS'$. Direcția adevărată a astrului este AS , adică paralela prin A la direcția razei în afara atmosferei (deoarece toate razele ce ne vin de la un astru sînt paralele). Unghiul $\widehat{ZAS} = Z_0$ este *distanța zenitală adevărată*.

Diferența care trebuie adunată algebric distanței zenitale aparente pentru a se obține distanța zenitală adevărată se numește *refracție astronomică*

$$R = Z_0 - Z. \quad (6.27)$$

De aici rezultă că refracția micșorează distanța zenitală a astrului, parcă l-ar ridica deasupra orizontului. Conform primei legi a refracției, raza incidentă, normala și raza refractată se află în același plan, în planul vertical. Prin urmare refracția nu schimbă azimutul astrului.

Formula aproximativă a refracției este

$$R = A \operatorname{tg} Z \quad (6.28)$$

unde A se numește constanta refracției. Ea are valoarea de $60'',343$ pentru $t = 0^\circ$ și $P = 760$ mm, și valoarea $58'',3$ pentru $t = 10^\circ$ și $P = 760$ mm. În general

$$A = 60'',343 \frac{P}{760} \frac{273}{t + 273}$$

unde P — este presiunea și t — temperatura atmosferei. Pentru $Z > 70^\circ$ formula simplă pentru refracție nu mai este aplicabilă (dînd eroarea $\geq 1^\circ$). La orizont refracția este aproape de $35'$.

Paralaxe. Se numește paralaxă (sau deplasare paralactică) schimbarea direcției unui astru datorită deplasării observatorului. Întrucît observatorul terestru participă la mișcările Pămîntului, există: paralaxa diurnă sau geocentrică datorită deplasării direcției spre astru cauzată de mișcarea de rotație a Pămîntului, paralaxa anuală, datorită mișcării de revoluție a Pămîntului și paralaxa seculară care provine din deplasarea galactică a întregului sistem planetar, deci și a Pămîntului.

Dacă corpul observat este o stea, ca în cazul determinărilor de coordonate geografice, se poate considera numai paralaxa anuală. Efectele paralaxelor se elimină raportînd originea sistemului de coordonate la centrul mișcării considerate.

Paralaxa diurnă sau geocentrică; se consideră sistemul de axe ecuatoriale cu originea în centrul O al Pămîntului (figura 6.20), față de care

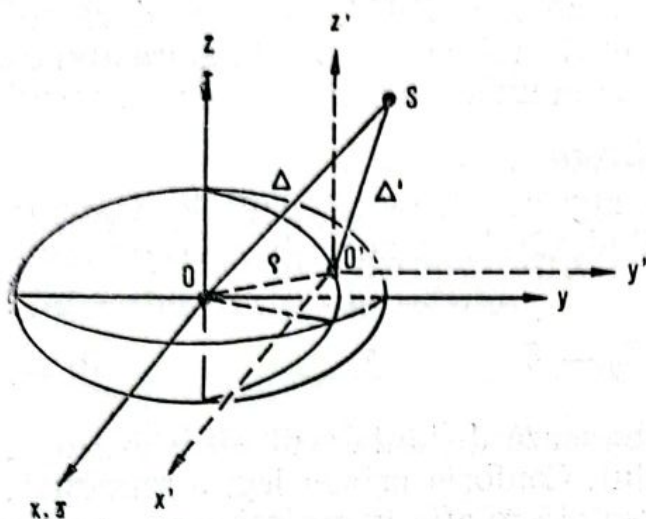


Fig. 6.20 Coordonatele geocentrice și topocentrice.

astrul S are coordonatele ecuatoriale α, δ distanța Δ și coordonatele rectangulare x, y, z încât

$$\left. \begin{aligned} x &= \Delta \cos \delta \cos \alpha \\ y &= \Delta \cos \delta \sin \alpha \\ z &= \Delta \sin \delta. \end{aligned} \right\} \quad (6.29)$$

Aceste coordonate se numesc *geocentrice*. Dar observatorul așezat în punctul O' de pe suprafața terestră avînd coordonatele geocentrice ρ, L și φ' (raza, longitudinea și latitudinea geocentrică) determină coordonatele α', δ' față de un sistem de axe paralel cu precedentul, dar avînd originea în punctul de observație. Coordonatele raportate la acest sistem se numesc *topocentrice*.

Unghiul p' numit paralaxa diurnă sau geocentrică este unghiul sub care s-ar vedea din astru raza geocentrică a locului de observație O' .

Din figura 6.21a se poate scrie

$$\frac{\rho}{\Delta} = \frac{\sin p'}{\sin Z'}$$

de unde

$$\sin p' = \frac{\rho}{\Delta} \sin Z' \approx p'. \quad (6.30)$$

Cînd astrul se află la orizont în S este paralaxa orizontală p' , deci

$$p' = p \sin Z. \quad (6.31)$$

În ipoteza apropiată a Pămîntului sferic $\rho = a =$ raza ecuatorială și de aici *paralaxa orizontală ecuatorială*

$$\pi = \frac{a}{\Delta}. \quad (6.32)$$

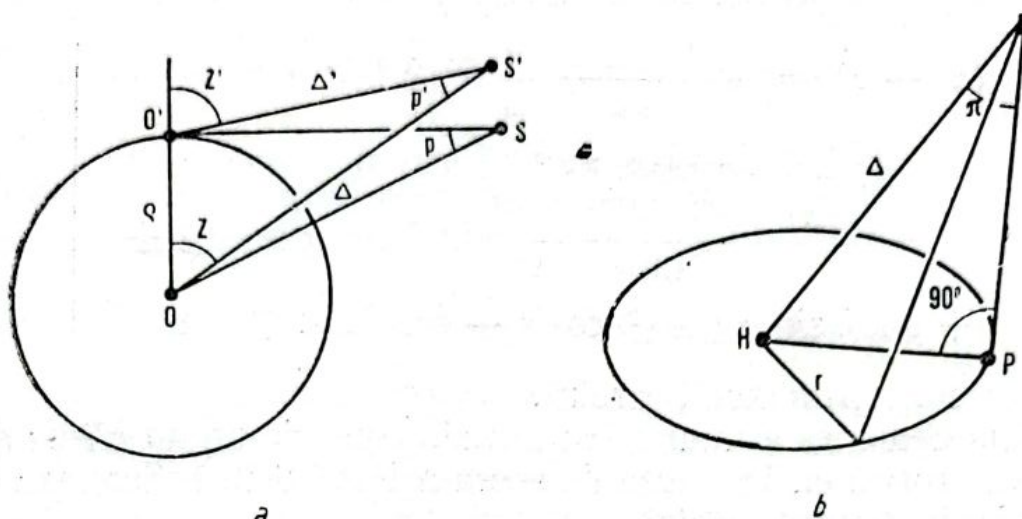


Fig. 6.21. Paralaxa diurnă (a) și paralaxa stelară (b).

În efemeride (anuale), ρ se exprimă în raze ecuatoriale iar Δ în unități astronomice, deci $a = \sin \pi_{\odot}$ unde $\pi_{\odot}$ — este paralaxa orizontală ecuatorială a Soarelui. Formulele de corecție devin

$$\begin{aligned} \alpha' - \alpha &= - \frac{\pi_{\odot} \rho \cos \varphi'}{\Delta \cos \delta} \sin H \\ \delta' - \delta &= - \frac{\pi \rho \sin \varphi'}{\Delta} \frac{\sin (\gamma - \delta)}{\sin \gamma} \end{aligned} \quad (6.33)$$

unde $\tan \gamma = \tan \varphi' / \cos H$. Cum se vede din definiția sa paralaxa diurnă determină distanța Δ . Se utilizează pentru determinarea distanțelor și dimensiunilor corpurilor cerești în sistemul solar.

Din cauza mișcării de revoluție a Pământului, direcția geocentrică a unui astru variază în cursul unui an. De aici necesitatea de a o reduce la centrul Soarelui (*direcție heliocentrică*). Paralaxă anuală (sau stelară π) se numește unghiul sub care s-ar vedea din astru raza orbitei terestre când este perpendiculară pe direcția Pământ-astru (valoarea maximă a unghiului). Din figura 6.21 b rezultă că

$$\sin \pi = \frac{a}{\Delta} \approx \pi. \quad (6.34)$$

Determinarea lui π duce la cunoașterea distanței Δ a stelei.

Se consideră sistemul heliocentric de referință și cel geocentric (cu originea în P) paralel cu primul. Se notează cu Δ, α, δ și $\Delta', \alpha', \delta'$ coordonatele heliocentrice, respectiv cele geocentrice ale Soarelui. Trecerea de la sistemul geocentric la cel heliocentric se face prin relația vectorială

$$\vec{PS} = \vec{PH} + \vec{HS} \quad (6.35)$$

din care se deduc pentru coordonatele ecuatoriale corecțiile

$$\begin{aligned} (\alpha' - \alpha)^s &= -\frac{1}{15} \frac{1}{\sin 1''} \frac{r}{\Delta} \sec \delta (\sin \alpha \cos \odot - \\ &\quad - \cos \alpha \sin \odot \cos \varepsilon) \\ (\delta' - \delta)'' &= -\frac{1}{\sin 1''} \frac{r}{\Delta} (\sin \delta \cos \alpha \cos \odot + \\ &\quad + \sin \delta \sin \alpha \sin \odot \cos \varepsilon - \cos \delta \sin \odot \sin \varepsilon) \end{aligned} \quad (6.36)$$

unde $\odot$ este longitudinea Soarelui.

Poziția aparentă a unui astru descrie timp de un an *elipsa de parallaxă anuală* rotită cu 180° față de aceea a Pământului. Semiaxa ei mare π , depinde de distanța stelei.

Elipsa de parallaxă anuală este oglindirea mișcării anuale a Pământului, deci dovada incontestabilă a heliocentrismului. Din acest motiv în secolele trecute s-a căutat punerea ei în evidență prin observații. Dar micile valori ale paralaxelor stelare (mai mici de o secundă de arc) n-au permis găsirea acestor elipse, decât după ce în secolul 19 s-au putut determina primele lor valori ($\pi < 0'',76$).

Aberația luminii. Aberația este schimbarea aparentă a direcției unui astru, datorită mișcării relative a observatorului în raport cu astrul. Dacă corpurile cerești ar fi în repaus unele în raport cu altele sau dacă viteza luminii ar fi infinită, fenomenul de aberație n-ar exista; pozițiile aparente ale astrilor ar coincide cu cele geocentrice ale lor.

Fie Pământul în mișcare cu viteza v și pozițiile sale P_0 și P la momentele t_0 și t , S_0 și S pozițiile corespunzătoare ale astrului S (figura 6.22). În timpul $t - t_0$ Pământul cu viteza v s-a deplasat de la P_0 la P ,

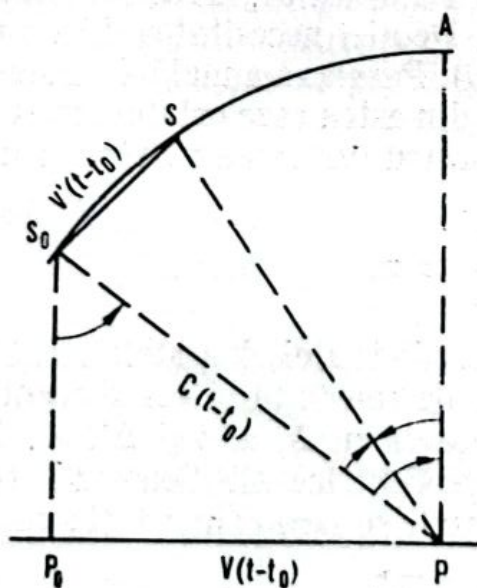


Fig. 6.22. Aberația luminii.

iar astrul de la S_0 la S . Datorită deplasării Pământului cu v ($t - t_0$) a apărut deplasarea aparentă a astrului

$$\widehat{P_0SP} = \widehat{S_0PA} = \text{aberația stelară.}$$

În timpul $t - t_0$ steaua s-a deplasat de unghiul $\widehat{S_0PS}$, numit corecția de timp de lumină. Ținând cont de ambele deplasări, direcția Pământ-astru s-a deplasat de unghiul

$$\widehat{APS} = \widehat{APS_0} - \widehat{SPS_0} = \text{aberația planetară.}$$

Dacă se consideră stelele, corecția de timp de lumină este neglijabilă, deoarece distanța fiind mare, nu se poate observa în timpul propagării luminii ei la observator o deplasare.

Aberația planetară în acest caz se reduce la aberația stelară care are trei componente: aberația diurnă, aberația anuală și aberația seculară, corespunzând celor trei mișcări ale Pământului. Aberația seculară produsă de mișcarea sistemului solar în jurul centrului galaxiei, este aceeași pentru toate stelele, deci poate fi neglijată. De aceea vor fi tratate numai primele două componente.

În anul 1725 Bradley pentru a stabili paralaxa stelară, a ales steaua γ Draconis. Aflată aproape de zenitul observatorului său, făcea posibilă eliminarea corecțiilor de refracție pe de o parte, iar fiind aproape de polul ecliptic elipsa de paralaxă căpăta aproape forma unui cerc. Elipsa de paralaxă trebuia să depindă de distanța la stea și să fie rotită cu 180° față de elipsa reală a Pământului. În anul 1726 a ajuns la concluzia că γ Draconis descrie timp de un an o elipsă cu semiaxa de $20''$ și rotită cu 90° față de elipsa orbitei terestre. Găsind același rezultat și la alte stele a ajuns la concluzia că neconcordanța cu teoria nu poate fi datorată erorilor de observație, ci unui fenomen pe care l-a numit *aberația stelelor*.

Mișcările proprii ale stelelor. Prima impresie pe care ne-o produc stelele este că ele sînt fixe unele în raport cu altele, spre deosebire de planete, comete și alte corpuri ale sistemului solar. Din observații precise rezultă că stelele se mișcă una față de alta, încît în cursul veacurilor formele constelațiilor se schimbă. Coordonatele ecuatoriale medii α_1 , δ_1 și α_2 , δ_2 ale unei stele la momentele t_1 și t_2 , se raportează la axele de coordonate corespunzătoare epocii t_1 . Expresiile

$$\mu_\alpha = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{t_2 - t_1} \text{ și } \mu_\delta = \frac{\delta_2 - \delta_1}{t_2 - t_1} \quad (6.37)$$

se numesc *mișcări proprii în ascensie și în declinație*, reprezentînd variațiile anuale ale coordonatelor ecuatoriale ale unei stele. Se consideră ca unitate de timp anul tropic, deci μ_α se exprimă în secunde de timp pe an, iar μ_δ în secunde de arc pe an.

Reducerea la zi a coordonatelor stelelor. Din citirile la instrumentele de observație, corectate de erorile instrumentale (înclinare, colimație, azimut) rezultă poziția observată, adică *coordonatele observate* ale astrului. Se trece apoi la poziția aparentă a astrului, adică poziția pe care ar determina-o un observator imaginar așezat în centrul Pământului fără atmosferă. Se aplică coordonatelor observate corecțiile de refracție, de paralaxă geocentrică și aberație diurnă și se obțin *coordonatele aparente ale astrului*.

Poziția adevărată a unui astru se consideră poziția raportată la centrul de masă a sistemului solar, practic la centrul Soarelui. Se corectează coordonatele aparente de paralaxa anuală și aberația anuală și se obțin *coordonatele adevărate* ale astrului. Ele se raportează la ecuatorul și echinocțiul din momentul observației, deci afectat de precesie și nutație. Pentru omogenizare, toate observațiile dintr-o campanie de lucru se raportează la un același ecuator și echinocțiu, corespunzător unei date, de exemplu începutului anului besselian (o dată apropiată de începutul anului calendaristic și trecută în anuarele mari). În acest scop se aplică coordonatelor adevărate corecții de nutație și se obțin *coordonatele medii* ale astrului.

În cataloagele stelare, sistemul de referință se raportează la începutul anilor 1900,0, 1925,0, 1950,0 și 2000,0, deci se aplică și precesia la coordonatele medii. Cataloagele conțin coordonatele ecuatoriale medii ale stelei pentru aceeași epocă dată, mișcările proprii și precesia în α și δ , ca și epoca la care se referă aceasta.

Reducerea la zi a unei stele înseamnă deducerea coordonatelor aparente din coordonatele medii date de un catalog. Se face în mai multe etape:

— trecerea de la coordonatele date de catalog pentru epoca t_0 la coordonatele medii pentru epoca t_1 (de la începutul anului besselian al epocii t), prin corecțiile de precesie și mișcare proprie

$$\begin{aligned} \alpha_0 &= \alpha_{oc} + (m + n \sin \alpha \operatorname{tg} \delta) (t_1 - t_0) + \mu_\alpha (t_1 - t_0) \\ \delta_0 &= \delta_{oc} + n \cos \alpha (t_1 - t_0) + \mu_\delta (t_1 - t_0) \end{aligned} \quad (6.38)$$

unde $m = 46'',08506 + 0'',02795 T$, $n = 20'',04686 - 0'',00853 T$ și $T = t_1 - t_0$;

— trecerea la coordonatele adevărate pentru momentul t (ales) aplicând corecțiile de precesie, nutație, aberație anuală și mișcarea proprie pentru intervalul $(t - t_1)$, după formulele

$$\begin{aligned} \alpha &= \alpha_0 + \mu_\alpha (t - t_1) + Aa + Bb + Cc + Dd + E + J \operatorname{tg}^2 \delta \\ \delta &= \delta_0 + \mu_\delta (t - t_1) + Aa' + Bb' + Cc' + Dd' + J' \operatorname{tg} \delta \end{aligned} \quad (6.39)$$

unde A, B, C, D sînt numerele de zile besseliane de primul ordin, J și J' de ordinul II, sînt date de anuare, iar $a, b, c, d, a', b', c', d'$ constante besseliane ale stelei care se calculează;

— se aplică corecția de paralaxă anuală și se obțin coordonatele aparente α' , δ'

$$\begin{aligned} \alpha' &= \alpha + \pi (Yc - Xd) \\ \delta' &= \delta + \pi (Yc' - Xd') \end{aligned} \quad | \quad (6.40)$$

unde X și Y sînt coordonatele rectangulare ale Soarelui date de anuare.

Reducerea la zi este utilă pentru a se obține coordonatele stelare care intervin în determinările de coordonate geografice și de timp. Trezirea inversă de la observații la cataloage este mai puțin utilizată în geografia matematică.

6.7. TIMPUL ȘI MĂSURAREA LUI

Definiția timpului. Ca formă de existență a materiei, timpul este o mărime imaterială și pentru a-l măsura trebuie raportat la un fenomen material. Se numește *scală de timp* un ansamblu format din: un fenomen material măsurabil, permanent și stabil, evoluind în timp și o teorie care dă desfășurarea acestui fenomen în funcție de o variabilă independentă.

Această variabilă independentă a desfășurării fenomenului se numește *timp*. De exemplu, la un orologiu: fenomenul material este deplasarea continuă a acelor într-o mișcare de rotație uniformă, iar teoria este formată din ansamblul — legea sincronismului oscilațiilor pendulei, asigurarea transmiterii mișcării neisocrone acelor prin precauția luată de constructor pentru a elimina frecările, legea citirii indicațiilor acelor.

Pentru ca fenomenul să fie permanent stabil, este necesar să nu existe nici un fenomen disipativ (ca de exemplu frecarea, a cărei legi sînt încă puțin cunoscute) și de aici optarea pentru fenomene astronomice. Deci orologiile mecanice sînt bune pentru a servi ca instrument de interpolare a timpului pe o mică durată, dar nu pentru a asigura determinarea și conservarea timpului.

Fenomenele astronomice oferă posibilități largi. Mișcarea de rotație a Pămîntului s-a părut că oferă garanții, dar observațiile le-au infirmat. Pămîntul nu este un solid nedeformabil; mareele, fenomenele geologice și geofizice modifică dimensiunile elipsoidului de inerție al Pămîntului, schimbări care au un efect măsurabil. Mișcarea orbitală a planetelor și sateliților se exercită pe baza legilor bine cunoscute, fără frecare și independent de natura fizică a corpurilor.

În cele ce urmează se vor expune cele două mari categorii de timp: timpul astronomic și timpul fizic.

Timpul astronomic. Este definit cu ajutorul fenomenelor astronomice, de două feluri: timp terestru și timp newtonian (sau al eferidelor).

Timpul terestru este definit cu ajutorul mișcării diurne (mișcarea de rotație a Pământului). Dacă se consideră mișcarea diurnă a sferei cerești (numai mișcarea de rotație a Pământului), se definește timpul sideral. Mișcarea aparentă diurnă a Soarelui definește timpul solar (mișcarea de rotație plus cea de revoluție a Pământului). În ambele cazuri practic timpul se definește ca fiind unghiul orar al unui reper. În primul caz reperul este punctul vernal, în cel de al doilea Soarele. *Timpul sideral* definit ca fiind unghiul orar al punctului vernal (a se vedea punctul 6.2, se determină cu ajutorul stelelor fundamentale, pe baza relației simple $\theta = \alpha + H$ (a se vedea figura 6.6) când steaua trece prin planul meridian $H = 0$, deci $\theta = \alpha$. Unitatea de timp sideral este ziua siderală: intervalul de timp dintre două treceri consecutive ale punctului vernal la meridianul superior al locului de observație. Ziua siderală se împarte în 24^h siderale, 24×60^m siderale și $24 \times 60 \times 60^s$ siderale. Timpul sideral este foarte util pentru problemele de astronomie, dar este incomod pentru viața practică, care se călăuzește după Soare.

Timpul solar adevărat se definește ca fiind unghiul orar H_0 al centrului Soarelui adevărat S_a mărit cu 12^h . Unitatea de timp solar adevărat este ziua solară adevărată: intervalul de timp dintre două treceri consecutive la meridianul superior al locului. Datorită mișcării sale anuale aparente, Soarele se deplasează în medie, în fiecare zi cu

$$\frac{360^\circ}{365,2422} = 59',2.$$

Dar, mișcându-se după legea ariilor, descrie pe zi arce inegale și anume: la apogeu (2 iulie) ... $59',2$ și la perigeu (3 ianuarie) $61',2$. Arcelor egale de ecliptică nu le corespund arce egale de ecuator. De aici rezultă că ascensia dreaptă a Soarelui crește inegal: la echinocțiilor cu $54',4$, iar la solstiții cu $64',5$ pe zi. Diferența dintre ziua cea mai lungă și cea mai scurtă a anului fiind aproximativ de un minut.

Timpul solar mediu este timpul solar adevărat corectat de inegalitățile sale, numite ecuația timpului E . Se definește ca fiind unghiul orar al Soarelui mediu H_m mărit cu 12^h , un punct fictiv care descrie uniform ecuatorul și are aceeași perioadă de revoluție ca și Soarele adevărat. Deci

$$H_m = H_a + E \quad (6.41)$$

timpul solar mediu este partea timpului adevărat care variază proporțional cu timpul newtonian t .

Se numește *zi solară medie*, sau mai scurt *zi medie*, intervalul de timp dintre două culminații consecutive ale Soarelui mediu la meridianul superior al locului. Ea se împarte în 24^h medii, 24×60^m medii și $24 \times 60 \times 60^s$ medii.

S-au definit pînă aici două *unități de timp*: ziua siderală și ziua medie, fiecare cu subdiviziunile sale, ore (h), minute (m) și secunde (s). Se poate stabili legătura dintre cele două sisteme de unități. În decursul unui an tropic, punctul vernal execută n rotații retrograde; în același timp datorită mișcării sale anuale aparente, Soarele mediu va efectua $n - 1$ rotații retrograde. Deci $(n - 1)$ rotații medii = n rotații siderale, deci $365,2422$ zile medii = $366,2422$ zile siderale de unde factorul de trecere

$$R = \frac{1 \text{ zi siderală}}{1 \text{ zi medie}} = \frac{365,2422}{366,2422}. \quad (6.42)$$

De aici rezultă

$$1 \text{ zi medie} = 1 \text{ zi siderală} + 236^s,555 \text{ siderale};$$

$$1 \text{ zi siderală} = 23^h 56^m 04^s, 09 \text{ medii}.$$

Este mai comod pentru viața practică, ca o zi să înceapă la miezul nopții. Din acest motiv s-a instituit *timpul civil* care este timpul mediu decalat cu 12^h

$$t_e = H_m + 12^h. \quad (6.43)$$

Timpurile înșirate pînă aici, sideral, solar adevărat, solar mediu, civil, fiind definite ca unghiuri orare, sînt legate de locul observației, deci sînt *timpuri locale*.

De aici problema schimbării de localitate. Fie două localități A și B de longitudine L_A și L_B față de meridianul OG de la Greenwich. Notîndu-se cu OM (figura 6.23) cercul orar al astrului care ne definește timpul: t_G pentru Greenwich, t_A și t_B pentru localitățile A și B . Se vede în figură că

$$t_G = t_A + L_A \quad \text{și} \quad t_G = t_B + L_B$$

de unde

$$t_B - t_A = L_A - L_B \quad (6.44)$$

relație valabilă pentru oricare din timpurile mai sus definite. Deci, diferența timpurilor de același fel a două localități este egală cu diferența longitudinilor cu semnul schimbat, exprimată în unități de timp.

Trecerea de la timpul sideral la timpul civil; trebuie găsit timpul civil t_e care corespunde unui moment sideral θ . Timpul sideral la mie-

du-se un tablou, în care se inserează poziția observată și se citește timpul care-i corespunde. Acest timp astfel determinat, poartă numele de *timpul newtonian* sau *timpul efemeridelor*. Mișcarea aparentă a Soarelui se poate calcula dinainte, deci, timpul efemeridelor este timpul pentru care poziția efectivă a Soarelui coincide cu aceea dată de tabelele lui Newcomb.

Timpul efemeridelor se poate deduce din timpul universal în modul următor:

— se determină din observații timpul universal TU_0 și se corectează de deplasarea polului obținând TU_1

$$TU_1 = TU_0 + \Delta\lambda \quad (6.49)$$

— se adaugă corecția datorită variației sezoniere a rotației Pământului și se obține timpul universal uniform provizoriu TU_2

$$TU_2 = TU_1 + \Delta T_s \quad (6.50)$$

— se adaugă corecția datorită variațiilor regulate și neregulate ale mișcării Pământului, cuprinse în formula

$$\Delta T = 24^s,349 + 72^s,3165 \cdot T + 29^s,949 \cdot T^2 + 1^s,821 \cdot B$$

unde T — este exprimat în secole, iar B — este fluctuația longitudinii Lunii. De aici timpul efemeridelor

$$TE = TU_2 + \Delta T. \quad (6.51)$$

Fără a fi identic cu timpul uniform al mecanicii clasice, timpul efemeridelor răspunde — în limita observațiilor actuale — tot atât de bine cerințelor mecanicii ca și primul. Este util pentru măsurarea marilor intervale de timp, dar nu corespunde măsurării micilor intervale datorită preciziei sale reduse.

Timpul fizic. Progresele fizicii în ultimele decenii au dus la descoperirea unor fenomene fizice ce se desfășoară uniform în timp. Ele au dus la definirea timpului fizic, ca și la construirea orologiilor (ceasurilor) pentru determinarea și păstrarea lui.

Ceasurile cu cuarț realizează primul dispozitiv bazat pe un fenomen fizic pentru determinarea timpului; frecvența unui cristal de cuarț tăiat după o secțiune principală, aflat într-un câmp electric constant, se menține constantă timp îndelungat.

Ceasurile atomice rezultă din asocierea unui etalon atomic cu un ceas cu cuarț, aservit lui. Doi atomi ai aceluiași izotop, puși în condiții fizice similare, nu vor prezenta nici o diferență în absorbția sau emisia de energie la o tranziție, asigurând deci aceeași frecvență etalon. S-au construit ceasuri atomice de cesiu, rubidiu și în prezent cu maseri, cu hidrogen atomic etc. Precizia lor poate ajunge pînă la 10^{-13} .

În prezent există două scale de timp:

— scala timpului astronomic (al efemeridelor), puțin precisă, dar care se extinde în trecut și cu ajutorul căreia se studiază mișcarea corpurilor cerești;

— scala timpului atomic (fizic), care mărește mult precizia măsurării micilor intervale de timp, dar care nu se poate extinde în trecut, din cauza inexistenței în acea vreme a etaloanelor atomice.

Unitatea fundamentală de timp este secunda, care însă se definește diferit, după fenomenul stabil considerat. Pentru timpul universal, secunda este $1/86\,400$ din ziua solară medie. Variația ei de 10^{-7} este mai mare decât erorile de măsurare (10^{-9}). Pentru timpul efemeridelor, secunda este $1/31\,556\,925,975$ din anul tropic pentru 1900,0. Pentru timpul atomic, secunda este durată a $9\,192\,631\,770$ perioade ale radiației, corespunzând tranziției între cele două nivele hiperfine ale stării fundamentale ale unui atom de nuclid cesiu 133, neperturbat de câmpurile exterioare electromagnetice, dar ținându-se seama de câmpul gravitațional existent la suprafața geoidului.

Variații ale rotației Pământului. Astronomia antică considera mișcarea diurnă de rotație a Pământului ca circulară și strict uniformă. Copernic a interpretat-o ca o rotație a Pământului în jurul axei sale, dar a menținut ideea mișcării uniforme, Newton s-a îndoit de existența unei mișcări strict uniforme pentru determinarea timpului, iar Kant (1755) a remarcat că marcele trebuie să fie o cauză de alungire continuă a duratei zilei, iar Lalande (1771) a apreciat că într-un an inegalitățile în rotația Pământului pot atinge 2—3 secunde care nu se determină din observații. După el cauzele pot fi de ordin mecanic (atrakția luni-solară) sau de ordin geofizic (mișcări ale atmosferei și mărilor). Descoperirea deplasării polului (1888) și a marcelor scoarței terestre (1902—1905) au eliminat ideea că Pământul este un solid nedeformabil.

Pentru un corp în mișcare de rotație în jurul unei axe care trece prin centrul său de masă, teorema momentului cinetic exprimă că derivata în raport cu timpul momentului cinetic al corpului față de centrul său de masă este egală cu momentul dinamic al forțelor exterioare în raport cu același punct

$$\frac{d\vec{c}}{dt} = \vec{M} \quad \text{unde} \quad \vec{c} = I \cdot \vec{\omega}$$

deci

$$\frac{d(I \cdot \vec{\omega})}{dt} = M \quad (6.52)$$

unde I — este momentul de inerție al solidului referitor la axă, iar $\vec{\omega}$ — viteza unghiulară a rotației.

De aici rezultă că variațiile în viteza de rotație a Pământului pot fi de trei feluri:

— *Variații regulate*, datorate existenței unui moment dinamic $\vec{M}$ care face să varieze continuu și constant momentul cinetic $\vec{c}$, deci viteza de rotație. Rezultă o întârziere de 30^s pe secol, care în 100 secole va fi de 50^m .

— *Variații neregulate* (chiar brusce), care nu modifică momentul dinamic, deci nici pe cel cinetic, întrucât se schimbă momentul dinamic de inerție I al Pământului, datorate fenomenelor geofizice (schimbarea distribuției maselor în interior).

— *Variații sezoniere*, în cursul unui an (dar diferite de la un an la altul). Cauza plauzibilă este mișcarea maselor atmosferice care produc o variație a lui I , deci și a lui $\vec{\omega}$. De aici o variație periodică în fiecare an de $0^s,003$.

7 ELEMENTE DE ASTRONOMIE PRACTICĂ

Astronomia practică se ocupă cu instrumentele și metodele de observare a corpurilor cerești, ca și cu aplicațiile practice ale observațiilor astronomice. Principalele ei probleme sînt: determinarea unei direcții (orientarea), a orei exacte, a coordonatelor geografice sau ale unui corp ceresc. Acestea sînt necesare pentru navigația maritimă și aeriană, pentru problemele de geodezie, pentru întocmirea hărților și pentru zborurile cosmice.

7.1. INSTRUMENTE ASTRONOMICE

Cunoștințele noastre asupra corpurilor cerești sînt obținute prin studierea radiațiilor pe care le emit acestea, din care o mică parte impresionează un organ receptor. Din cauza mării lor distanțe, corpurile cerești sînt practic la infinit. Ochiul înregistrează imaginea unui astru prin radiațiile care cad pe pupilă și impresionează retina. Din cauza micimii suprafeței receptoare (a pupilei) stelele slabe scapă observației; de aici necesitatea introducerii unor receptori cu suprafețe cît mai mari, care să condenseze o cantitate cît mai mare de radiații. Pe de altă parte, pentru fixarea direcției radiațiilor, adică pentru determinarea poziției astrului, este necesar un dispozitiv de vizare. Acest dublu scop îl realizează instrumentele astronomice.

Un instrument astronomic are următoarele părți principale: un sistem de vizare — lunetă sau telescop — care servește pentru fixarea direcției la un astru și pentru concentrarea în planul focal a radiațiilor incidente pe o suprafață, formînd o imagine similară sursei din care provin; un sistem de măsurare, format din cercuri gradate și accesoriile de măsurare, ca nivele, microscopie, micrometre și montura instrumentală.

Sistemul de vizare și condensare, după domeniul de radiații în care funcționează, se divide în: lunete sau telescoape optice și radiotelescoape. Lunetele și telescoapele optice se compun din: obiectiv, ocular și tub de legătură; sînt caracterizate prin:

- deschiderea relativă, egală cu raportul dintre diametrul D al obiectivului și distanța sa focală F ;
- cantitatea de lumină concentrată de obiectiv, proporțională cu aria receptorului, deci cu pătratul diametrului obiectivului, $I = aD^2$;
- puterea de rezolvare (separatoare), cea mai mică distanță unghiulară la care două puncte luminoase se mai văd separat

$$\varepsilon'' = \frac{11'',8}{D} \text{ (cu } D \text{ în cm);} \quad (7.1)$$

- mărirea (grosimentul); raportul dintre unghiul sub care se vede imaginea obiectului mărită prin ocular și unghiul sub care același obiect se vede cu ochiul liber. Mărirea este egală cu raportul dintre distanțele focale ale obiectivului și ocularului

$$M = \frac{F}{f}; \quad (7.2)$$

- puterea de pătrundere; magnitudinea (impresia produsă de strălucire) minimă, care se poate detecta într-o noapte fără Lună

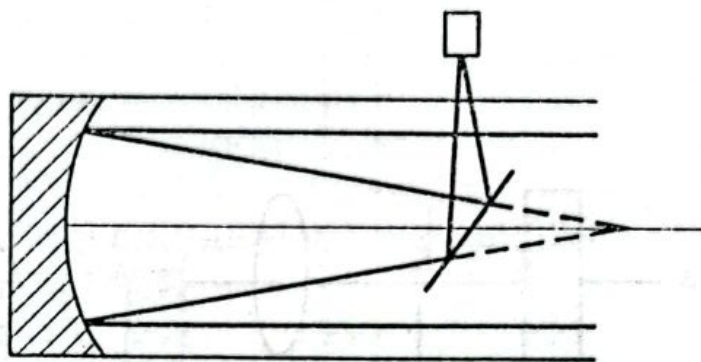
$$m = 7,5 + 5 \log D. \quad (7.3)$$

Ca obiectiv se utilizează sisteme de lentile (deci refractoare) sau oglinzi concave (reflectoare).

În prezent cel mai mare refractor este cel existent la observatorul Yerkes (S.U.A.), cu diametrul de 102 cm și distanța focală de 19 metri. În România, Observatorul astronomic din București dispune de un refractor cu $D = 38$ cm și $F = 6$ m, iar cel din Cluj-Napoca de un refractor cu $D = 20$ cm și $F = 3$ m. Cel mai mare telescop parabolic în funcțiune pînă în anul 1976 era cel de pe Mount Palomar (S.U.A.) cu $D = 5,02$ m, dar în prezent este cel din Caucaz, la Zelenciukskaia (U.R.S.S.), telescop cu diametrul oglinzii de 6 m. Observatorul astronomic din București dispune de un telescop aluminizat sistem Cassegrain ($D = 50$ cm, $F = 750$ cm), iar cel din Cluj-Napoca de un telescop argintat sistem Newton (figura 7.1) cu $D = 50$ cm, $F = 300$ cm.

Receptorii de radiații sînt dispozitive care se așază în vecinătatea planului focal al unui obiectiv și permit o cercetare amănunțită a unui corp ceresc. Aceștia sînt: *selectivi*, dacă sensibilitatea lor se reduce la un domeniu restrîns al spectrului și *integrali*, dacă sînt sensibili pentru toate radiațiile de orice lungime de undă. Receptorii selectivi sînt: ochiul precedat de un ocular, placa fotografică și celula fotoelectrică, iar cei integrali sînt: termocuplul și bolometrul.

Fig. 7.1. Telescopul sistem Newton.



La aceștia se mai adaugă spectrograful urmat de unul din receptorii menționați mai sus. Toți acești receptori transformă energia radiantă primită într-o altă formă de energie (electrică sau chimică) măsurabilă.

Ocularul este un sistem optic format din lentile cu distanță focală mică ce are rolul de a mări imaginea dată de obiectiv, măbind unghiul sub care aceasta se vede și de a strânge toate radiațiile divergente într-un fascicul paralel nu mai larg decât pupila, pentru a permite ochiului să concentreze pe retină toate radiațiile care ies din instrument. În planul focal al obiectivului (și în fața ocularului) se află *reticulul* format dintr-un sistem de fire perpendiculare. Linia care unește centrul reticulului cu centrul optic al obiectivului poartă numele de *axă optică* a lunetei. Câmpul lunetei este regiunea maximă care se poate vedea privind prin ocular și centrul obiectivului.

Sistemul de măsurare se compune din unul sau două cercuri gradate (după natura instrumentului), o alidadă cu vernier și accesorii.

Montura instrumentală sau suportul este diferit, după scopul utilizat. *Montura altazimutală* este cea mai simplă, fiind formată din două axe de rotație, una verticală avînd un cerc orizontal pe care se citește rotația în jurul acesteia, instrumentul descriind un cerc mic (almucantarat), alta orizontală pe care se fixează luneta și un cerc gradat care măsoară rotația în jurul acesteia, luneta descriind un cerc vertical. Instrumentul specific acestei monturi este *instrumentul universal*, format dintr-o lunetă astronomică, ale cărei rotații în jurul axei orizontale AB se citește pe un cerc vertical C_v (citiri zenitale), iar întreg dispozitivul se rotește în jurul axei verticale CD pe a cărui cerc C_0 se indică citirile azimutale (figura 7.2). Instrumentul se sprijină pe un plan cu ajutorul a trei picioare-șuruburi, prin care se asigură așezarea corectă a instrumentului.

Pentru o mai mare precizie, necesară în astronomia de poziție, se asigură o mai mare stabilitate instrumentului dacă se așează într-un plan vertical dat, renunțîndu-se la rotația în jurul axei verticale. De acest fel

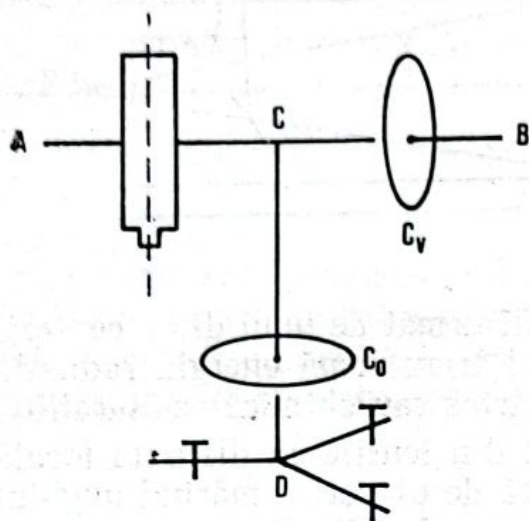


Fig. 7.2. Montura altazimutală (schema instrumentului universal).

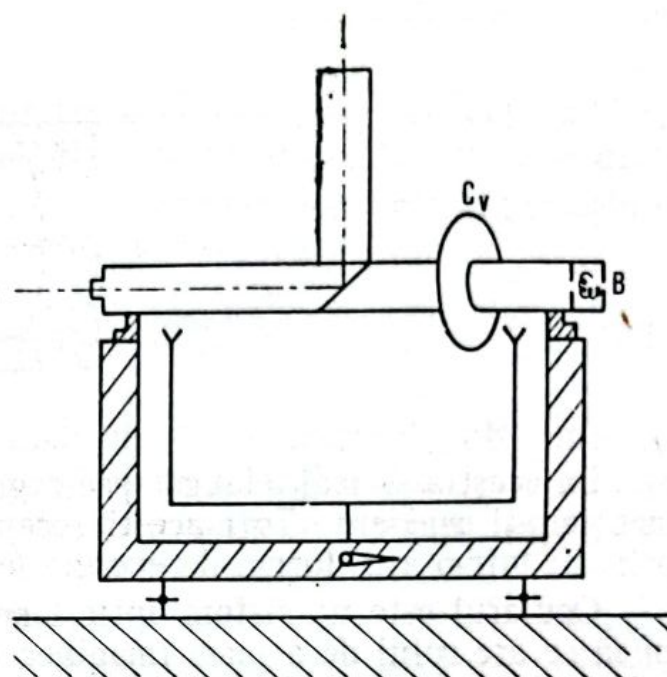


Fig. 7.3. Schema instrumentului de treceri.

este *instrumentul de treceri* (sau de pasaj), deoarece permite determinarea momentului trecerii unui astru printr-un plan vertical dat. Se compune dintr-o lunetă, de obicei cotită (figura 7.3), care se poate roti în jurul unei axe orizontale AB , deci într-un plan vertical. În planul frontal al obiectivului ei se află un reticul format dintr-un sistem de fire perpendiculare așezate simetric față de axa optică. În mod special instrumentul poate fi așezat în planul meridian al locului și îndeplinește funcția de *instrument meridian*. Cel mai precis, datorită stabilității sale este *cercul meridian* format dintr-o lunetă a cărei axă optică este perpendiculară pe axa de rotație AB , care este orizontală și perpendiculară pe planul meridian și așezată pe doi pilaștri (figura 7.4). Pe axa de rotație se află centrul unui cerc gradat, suficient de mare ($D = 100$ cm) pentru a permite citirea diviziunilor cu precizie. Este instrumentul de bază al astronomiei de poziție, servind pentru determinarea orei exacte, a coordonatelor ecuatoriale a unei stele sau a coordonatelor geografice a locului de observație, cu mare precizie.

Montura ecuatorială este cea mai utilizată pentru marile instrumente optice, întrucât, spre deosebire de cea altazimutală, permite urmărirea îndelungată a unui astru, fapt necesar pentru studiul fizic al acestuia. Instrumentul ecuatorial, ca și cel universal, are două axe perpendiculare una pe alta (figura 7.5): axa verticală CD a acestuia din urmă devine paralelă cu axa de rotație a Pământului și se numește axă polară (sau

Fig. 7.4. Schema lunetei meridiene.

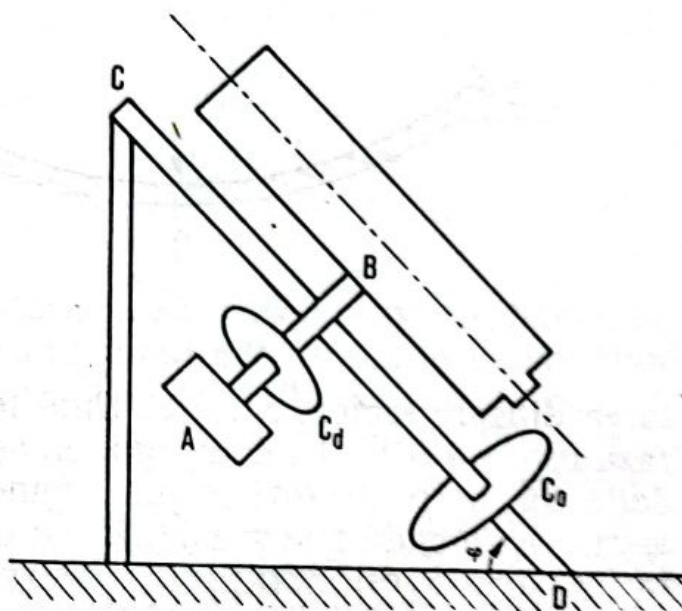
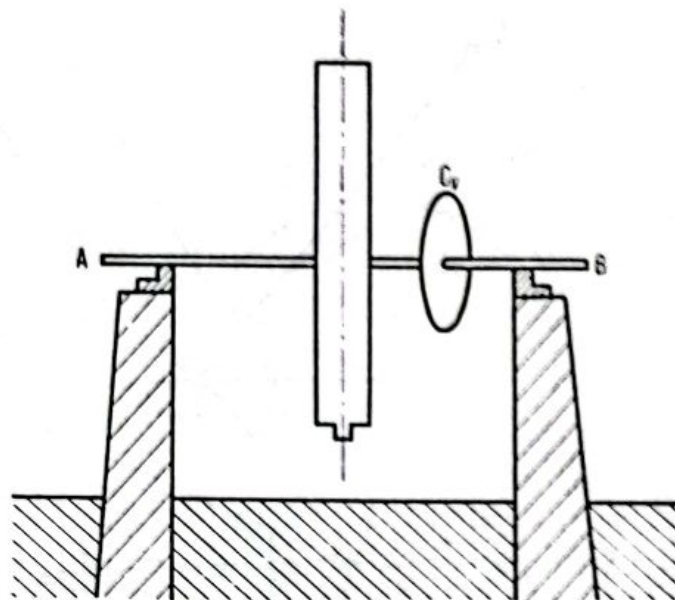


Fig. 7.5. Schema instrumentului ecuatorial.

orară), iar cercul perpendicular pe aceasta AB , paralel cu planul ecuatorialului, se numește axă de declinație, deoarece poartă cercul de declinație C_d pe care se citește declinația stelei. Un motor sincron asigură rotirea uniformă a lunetei în jurul axei polare, permițind urmărirea stelei.

Sextantul este instrumentul care înlocuiește pe mare instrumentul universal, inutilizabil cînd nu se poate dispune de un planșeu fix. Se utilizează la determinarea unghiurilor dintre două direcții date, pe mare și în aer.

Se compune dintr-un sector circular AOB (figura 7.6), avînd unghiul din O de 60° de unde îi vine numele. La mijlocul razei OB și perpendicular pe planul sectorului se află o oglindă M care reflectă numai pe jumă-

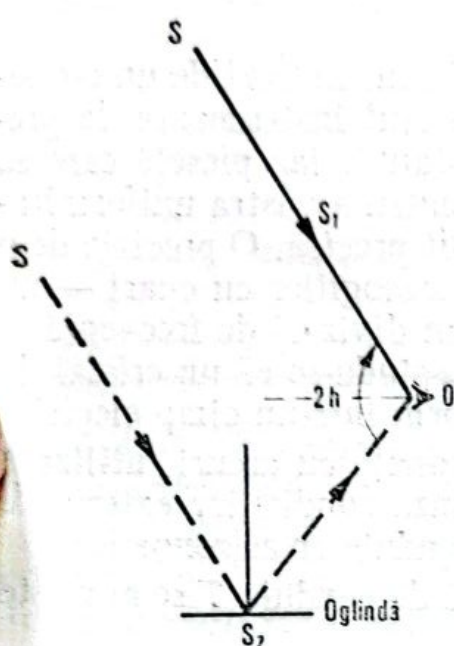


Fig. 7.7. Determinarea înălțimii Soarelui deasupra orizontului cu ajutorul orizontului artificial.

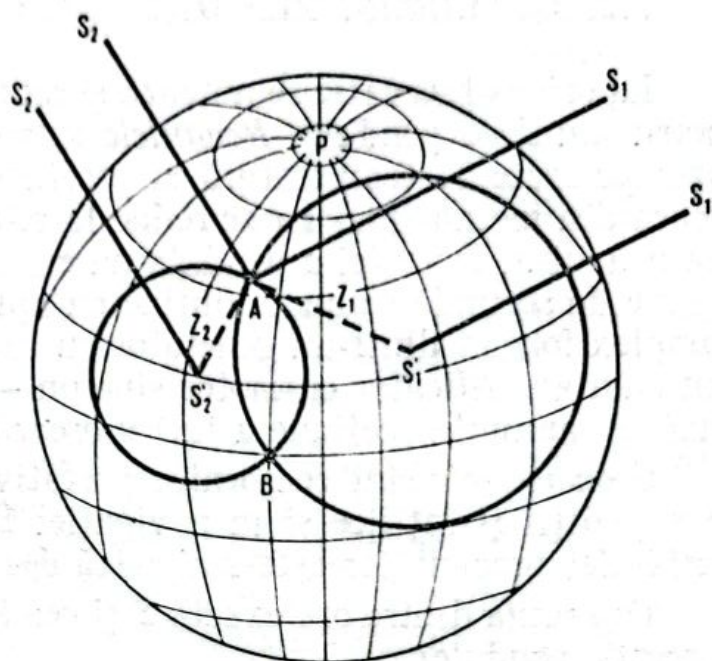


Fig. 7.8. Metoda Akimov-Sumner.

(în loc de 1° se notează 2°). Cu ajutorul sextantului se poate determina înălțimea Soarelui deasupra orizontului, unul din obiectele vizate fiind Soarele, iar al doilea linia orizontului. Din distanța zenitală cunoscută se determină prin calcul coordonatele geografice ale locului de observație. Când se fac observații pe uscat, se utilizează ca orizont artificial o oglindă plană așezată orizontal. În acest caz se măsoară unghiul format de raza primită direct de la Soare S_1 și cea reflectată S_2 în oglinda orizont, unghi care este dublul înălțimii Soarelui deasupra orizontului (figura 7.7).

O metodă practică dar aproximativă pentru determinarea poziției pe mare este metoda Akimov-Sumner. Pentru un astru aflat la zenitul locului de observație $Z = 0$, deci $\varphi = \delta$. Longitudinea este $L = 360 - H$, iar $H = \theta - \alpha$, deci se presupune cunoscut timpul sideral al observației. În cazul când astrul nu se află la zenitul locului se determină distanțele zenitale Z_1 și Z_2 a două stele cunoscute S_1 și S_2 la momentul sideral θ_1 și θ_2 ; se determină punctele substelare adică acele puncte de pe glob care la momentul θ au câte una din cele două stele la zenit. Se trasează cercurile de rază Z_1 și Z_2 avînd centrele în punctele substelare S'_1 și S'_2 . Unul dintre punctele de intersecție A și B ale celor două cercuri reprezintă locul de observație (figura 7.8).

7.2. DETERMINAREA OREI EXACTE

La orice observație se notează și momentul său, indicat de un cronometru sau de o pendulă. *Pendulele astronomice* sînt instrumente de precizie păstrate la temperatură și presiune constantă, iar piesele care se freacă din mecanismul lor se reduc la minim pentru a păstra uniformitatea mersului. Dar nici o pendulă nu este absolut precisă. O precizie de o miime de secundă se poate obține cu ajutorul orologiilor cu cuarț — un complex format dintr-un generator cu cuarț, din divizori de frecvență și dintr-un amplificator cu motor sincron — cunoscîndu-se că un cristal de cuarț (o anumită secțiune a lui) vibrează uniform într-un cîmp electric.

Cronometrele sînt ceasornice portative, acționate cu arcuri, utilizate în expediții științifice și în navigație. Din cauza condițiilor exterioare variabile, precizia lor este mai mică decît a pendulelor astronomice.

Diferența dintre ora exactă S și cea arătată de pendula T se numește corecția pendulei

$$C_p = S - T. \quad (7.4)$$

Variația pe oră a corecției se numește mersul pendulei

$$m = \frac{C_{pz} - C_{p1}}{24}. \quad (7.5)$$

O pendulă de calitate trebuie să aibă mersul constant, deci corecția la un moment dat T va fi

$$C_p = C_{p1} + mT - T_1 \quad (7.6)$$

unde T_1 — este momentul determinării corecției C_{p1} .

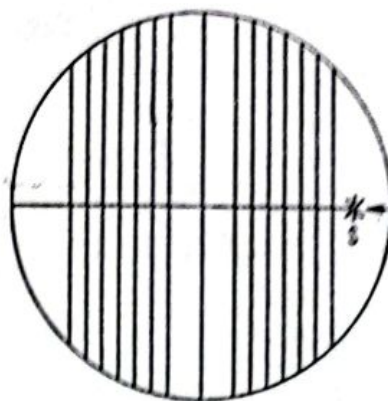
În meridian $H = 0$, deci $\theta = \alpha$ și $\alpha = \theta + T + C_p$, sau

$$C_p = \alpha - T \quad (7.7)$$

adică corecția pendulei în momentul culminației stelei este diferența dintre ascensia stelei și timpul indicat de pendulă în acel moment. În concluzie, determinarea orei exacte revine la determinarea corecției pendulei respective. Corecția C_p se stabilește determinînd momentul T (citit pe pendulă) al culminației superioare a stelei de ascensie α .

Momentul trecerii stelei la meridian se determină cu ajutorul instrumentului de treceri sau cu instrumentul meridian. Se notează momentul $T_1, \dots, T_n$, al trecerii stelei la firele reticulare (figura 7.9). Determinarea acestor momente constituie observația propriu-zisă și se utilizează metoda ochiului și a urechii, metoda cronografului înregistrator și cea fotoelectrică.

Fig. 7.9. Trecerea steii la firele reticulare.



Așezarea și construcția instrumentului introduc câteva erori de care trebuie să se țină seamă și anume:

— Eroarea de colimație, datorită neperpendicularității axei optice a lunetei și a axei de rotație AB . Se elimină din observații rotind în timpul trecerii steii luneta cu 180° în jurul axei verticale CD . În acest mod, observarea trecerilor se face la un număr de fire înainte de meridian și prin rotirea la aceleași fire dispuse simetric față de meridian.

— Eroarea de înclinare a axei AB , care se determină cu ajutorul nivelei și se ține seama de ea în formula de reducere.

— Eroarea de azimut a axei AB , adică devierea ei față de direcția est-vest. Se determină din observații și intră în formula de reducere.

Momentul T al trecerii la meridian a unei stele va fi

$$T = \frac{T_1 + \dots + T_n}{n}. \quad (7.8)$$

Pentru necesități practice, pe lângă observatoarele mari s-a organizat *serviciul orei exacte* care are trei atribuții: determinarea orei exacte pe baza observațiilor, păstrarea orei cu ajutorul pendulelor precise, recepționarea și transmiterea orei exacte cu ajutorul semnalelor orare obișnuite sau speciale.

7.3. ORIENTAREA

Orientarea fiind realizată într-un loc dat, când se cunoaște o direcție dată prin azimutul ei, revine la cunoașterea direcției meridianei în locul considerat; se cunosc astfel și direcțiile punctelor cardinale. Fie o direcție indicată de punctul de observație O și de un punct de observație B . Cunoșcând azimutul ei A , se măsoară în sens direct (trigonometric) unghiul A . Dreapta OM care le delimitează indică direcția meridianei în punctul O considerat (figura 7.10).

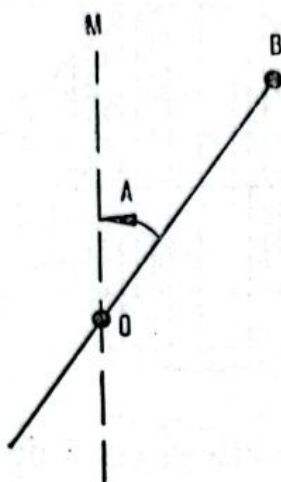


Fig. 7.10. Orientarea cunoscînd azimutul unei direcții.

Orientarea aproximativă se poate face:

— *Cu soarele (ziua)*, care în culminația sa superioară indică direcția sud. În mișcarea lui diurnă aparentă Soarele descrie într-o oră un arc de 15° , iar un grad pe cer este egal cu de două ori diametrul Soarelui. Deci fiind dat timpul se poate determina direcția Soarelui în acel moment și invers.

— *Cu Luna*, ținînd seamă de fazele ei și anume: Luna în formă de seceră subțire indică prin convexitatea ei vestul, Luna la primul pătrar (jumătate disc lunar) indică prin poziția sa direcția sud la orele 18 seara, Luna la ultimul pătrar indică sudul la orele 6 dimineața, iar secera îngustă a Lunii după ultimul pătrar indică prin convexitatea sa estul.

— *Cu Soarele și ceasul*; indicatorul orar al ceasului în timp de 24 de ore parcurge de două ori cadranul, avînd o viteză de două ori mai mare decît Soarele (deci 30° pe oră). Ținînd ceasul orizontal încît indicatorul orar să fie îndreptat spre Soare, bisectoarea unghiului format de indicatorul orar cu direcția spre ora 12 va indica direcția sud.

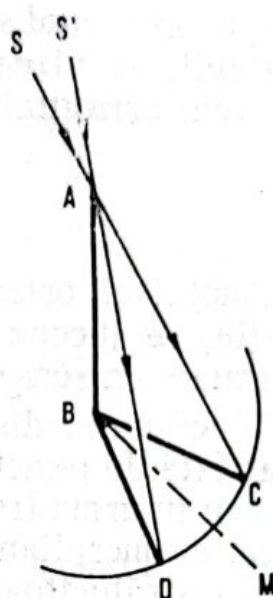
— *Cu busola*, dacă se cunoaște valoarea declinației magnetice.

— *Cu Steaua Polară*, care indică aproximativ direcția nord.

Direcția meridianului se poate determina aproximativ cu ajutorul gnomonului prin metoda umbrelor egale (figura 7.11). În poziții simetrice ale Soarelui față de culminația sa superioară, umbrele gnomonului AB vor fi egale și simetrice față de meridian. Cu o oră, două înainte de momentul culminației se va materializa pe sol direcția și lungimea umbrei AB , apoi un arc de cerc cu raza egală cu lungimea umbrei. Se va trasa direcția umbrei cînd ea atinge din nou acest cerc BD . Bisectoarea unghiului format de cele două umbre egale BM este direcția meridianei.

Direcția precisă a meridianei se obține cînd se cunoaște citirea orizontală A_m la un teodolit, corespunzătoare acestei direcții. Se determină prin metoda înălțimilor egale: se vizează o stea înaintea culminației

Fig. 7.11. Determinarea meridianului cu ajutorul gnomonului.



sale și se citește unghiul orizontal A_1 , iar unghiul vertical (înălțimea) se păstrează neschimbat pînă ce, după culminație, steaua ajunge din nou la aceeași înălțime, corespunzătoare unghiului orizontal A_2 . Citirea corespunzătoare meridianei este

$$A_m = \frac{A_1 + A_2}{2}. \quad (7.9)$$

7.4. DETERMINAREA AZIMUTULUI UNEI DIRECȚII

Azimutul unui obiect terestru (ca și al unei stele) relativ la un punct de observație este unghiul format de planul vertical prin obiect și planul meridian al punctului de observație. Se măsoară în sens retrograd de la $0-360^\circ$. Se deosebesc: *azimutul astronomic*, măsurat în sens direct de la planul meridian sud și *azimutul geodezic*, măsurat în sens direct de la planul meridian nord. Fiind elementul de bază în problema orientării, se dau în continuare cîteva metode pentru determinarea azimutului.

Metode aproximative sînt acelea care permit determinarea azimutului cu precizie de un minut de arc. Se amintesc cîteva dintre acestea:

— Cu ajutorul unui instrument universal, se determină direcția meridianei prin metoda înălțimilor egale, obținînd citirea corespunzătoare meridianei. Se vizează cu instrumentul universal obiectul terestru al cărui azimut se cere. Fie A' citirea corespunzătoare pe cercul orizontal. Azimutul obiectului va fi

$$A_o = A' - A_m.$$

— În cazul cînd se dispune de azimutul A_1 al unui obiect determinat în prealabil, se vizează obiectul de azimut cunoscut obținînd citirea L_1 pe cercul orizontal, apoi obiectul cu citirea L_2 pentru care azimutul va fi

$$A_2 = A_1 + L_2 - L_1. \quad (7.10)$$

Este de notat că oricare ar fi dispunerea obiectelor față de punctul de observație, se începe cu obiectul de azimut dat, rotînd instrumentul în continuare în sens retrograd (sensul acelor ceasornicului).

— Dacă nu se dispune de repere al căror azimut să fie în prealabil cunoscut față de punctul de observație, iar condițiile de observație (mult înainte sau în urma trecerii la meridian a Soarelui) nu permit determinarea direcției meridiane, se pot determina azimute cu ajutorul corpurilor cerești strălucitoare (Soarele, Luna, planete sau stele). Se vizează astrul considerat și se lasă să treacă peste firul central al lunetei determinînd momentul T al trecerii. Rezultă pe cercul orizontal citirea L_* . Se vizează apoi obiectul considerat și se citește L_0 pe același cerc. Azimutul obiectului este

$$A_0 = A_* + L_0 - L_*. \quad (7.11)$$

Pentru a deduce azimutul astrului A_* la momentul T este necesar să se cunoască coordonatele ecuatoriale ale lui la acest moment și latitudinea geografică a locului de observație cu o precizie de $15'$. Conform formulelor 6.20 de transformare a coordonatelor ecuatoriale în orizontale

$$\operatorname{tg} A = \frac{\operatorname{tg} H \cos M}{\sin (\varphi - M)}$$

unde $\operatorname{tg} M = \operatorname{tg} \delta \sec H$ și $H = \theta - \alpha$, θ fiind momentul sideral corespunzător momentului T al observației.

Metode precise sînt acelea care permit determinarea azimutului cu precizie de ordinul secunde, sau fracțiunii de secundă de arc. Precizia unei determinări depinde de: calitatea instrumentului, metoda utilizată, numărul observațiilor, experiența observatorului, latitudinea geografică a locului, modul în care se ține seama de erorile sistematice și măsura în care sînt create condițiile optime pentru realizarea metodei alese. În funcție de acestea se alege metoda și instrumentul de lucru pentru a obține precizia dorită.

La determinarea azimutului cu ajutorul instrumentului universal, cu formula 7.11 trebuie să se țină seama de înclinarea i a axei orizontale (considerată pozitivă cînd extremitatea vestică a axei este deasupra

orizontului), colimația c și de aberația diurnă. În acest mod formula devine

$$A_0 = A_* + L_0 - L_* - i \cotg Z_* + i_0 \cotg Z_0 \\ \mp c (\operatorname{cosec} Z_* - \operatorname{cosec} Z_0) + 0'',32 \frac{\cos \varphi}{\sin Z_*}$$

unde semnul $-$ corespunde poziției lunetei cu cercul la stînga, iar $+$ pentru poziția cu cercul la dreapta. Ultimul termen este corecția de aberație diurnă. Făcînd citirile cu luneta în două poziții (cercul la stînga și cercul la dreapta), termenul cu c (colimația) se elimină; la fel $\cotg Z_0 \approx 0$, deci

$$A_0 = A_* + L_0 - L_* - i \cotg Z_* + 0'',32 \cos \varphi \operatorname{cosec} Z_*. \quad (7.12)$$

În vederea alegerii unei metode, cea mai adecvată obținerii unei precizii maxime, cum rezultă din formula 7.12; determinarea unui azimut se reduce la două operații: determinarea azimutului A_* a stelei auxiliare și determinarea unghiului orizontal $L_0 - L_*$, format de planul vertical al obiectului terestru cu planul vertical al stelei auxiliare, (fie măsurînd direct unghiul, fie așezînd luneta în planul vertical al obiectului terestru și considerînd steaua în momentul trecerii sale prin acest plan, deci $L_0 - L_* = 0$).

Determinarea azimutului stelei auxiliare se poate face prin trei metode, după cum se exprimă cu ajutorul unghiului orar, a distanței zenitale sau a unghiului paralactic.

Prin unghiul orar; considerînd triunghiul de poziție PSZ (figura 7.12) se poate scrie

$$\begin{aligned} \cos Z &= \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos H \\ -\sin Z \cos A &= \sin \delta \cos \varphi - \cos \delta \sin \varphi \cos H \\ \sin Z \sin A &= \sin H \cos \delta \end{aligned} \quad (7.13)$$

de unde, din ultimele două relații

$$\operatorname{tg} A = \frac{\sin H \cos \delta}{\cos \delta \sin \varphi \cos H - \sin \delta \cos \varphi} \quad (7.14)$$

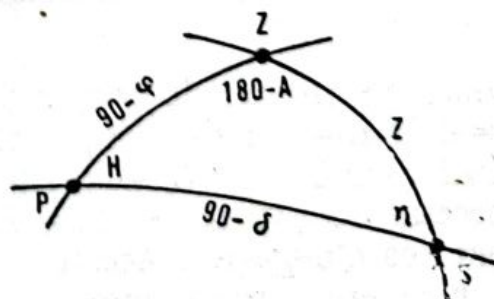


Fig. 7.12. Triunghiul de poziție pentru deducerea azimutului.

unde H se determină din observații. Scriind formula diferențială pentru unghiul A se obține

$$dA = \frac{\cos \delta \cos \eta}{\sin Z} dH + \frac{\sin \eta}{\sin Z} d\delta - \cotg Z \sin A d\varphi. \quad (7.15)$$

În general $H = \theta - \alpha$, unde $\theta = T + U$, T — fiind timpul citit la cronometru și U — corecția cronometrului

$$dH = dT + dU - d\alpha.$$

Admițând că α și δ , coordonate date de catalog, sînt precise, se poate considera $d\alpha = 0$ și $d\delta = 0$, deci

$$dA = \frac{\cos \delta \cos \eta}{\sin Z} dT + \frac{\cos \delta \cos \eta}{\sin Z} dU - \cotg Z \sin A d\varphi. \quad (7.16)$$

Precizia metodei constă în minimizarea erorii dA : dacă timpul se determină cu precizie încît $dT \approx dU \approx 0$ și $d\varphi \neq 0$, $dA \approx 0$ pentru $\sin A = 0$, deci $A = 0^\circ$, sau 180° , adică la culminația superioară și inferioară a stelei; pentru a reduce cît mai mult ultimul termen se va considera $45^\circ < \varphi < 75^\circ$; dacă latitudinea se cunoaște îndeajuns de precis încît $d\varphi = 0$ minimizăm dA cînd $\cos \eta = 0$, deci $\eta = 90^\circ$ sau 270° (la elongații, dacă planul orar și planul vertical al stelei sînt perpendiculare).

Prin distanțe zenitale; din triunghiul de poziție se obține

$$\sin \delta = \sin \varphi \cos Z - \cos \varphi \sin Z \cos A$$

de unde

$$\cos A = \frac{\sin \varphi \cos Z - \sin \delta}{\cos \varphi \sin Z} \quad (7.17)$$

relație care ne dă azimutul în funcție de distanța zenitală. Prin diferențierea ei

$$\cos \varphi \sin Z \sin A dA = \cos \delta d\delta - \sin \delta \cos H d\varphi + \sin \delta \cos \eta dZ$$

$$dA = \frac{d\delta}{\sin Z \sin \eta} - \frac{d\varphi}{\cos \varphi \tg H} + \frac{dZ}{\tg \eta \sin Z} \quad (7.18)$$

se obține eroarea determinării azimutului. În condițiile anterioare ($d\delta = 0$, $d\alpha = 0$): dacă $d\varphi \neq 0$ și $dZ \approx 0$, dA e minim cînd $\cos \varphi \rightarrow 1$, deci $\varphi \approx 0$ și $\tg H \rightarrow \infty$, adică $H \approx 6^h$; dacă $d\varphi = 0$ și $dZ \neq 0$ este necesar ca $\eta \approx 90^\circ$ și $Z = 90^\circ$, deci la distanțe zenitale mari și în vecinătatea elongației. Aceste metode sînt avantajoase deoarece nu necesită cunoașterea orei exacte.

Prin unghiul paralactic; se scriu formulele lui Gauss pentru φ și A

$$\begin{aligned}\sin \varphi &= \cos Z \sin \delta + \sin Z \cos \delta \cos \eta \\ -\cos \varphi \cos A &= \sin A \sin \delta - \cos Z \cos \delta \cos \eta \\ \cos \varphi \sin A &= \cos \delta \sin \eta\end{aligned}$$

de unde

$$\operatorname{tg} A = \frac{\sin \eta \cos \delta}{\cos \delta \cos Z \cos \eta - \sin \delta \sin Z}. \quad (7.19)$$

Diferențind ultima dintre aceste relații se obține căutarea de azimut

$$dA = \operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} A d\varphi + \frac{\sin \delta \sin \eta}{\cos \varphi \cos A} d\delta - \frac{\cos \delta \cos \eta}{\cos \varphi \cos A} d\eta \quad (7.20)$$

considerînd $d\delta = 0$: dacă $d\varphi = 0$ și $d\eta \neq 0$ este necesar ca $\delta \approx 90^\circ$, $\eta \approx 90^\circ$ și $A \approx 0^\circ$ sau 180° , deci se vor observa stele circumpolare și în vecinătatea elongației; dacă $d\varphi \neq 0$ și $d\eta = 0$ este necesar ca $A \approx 0^\circ$ sau 180° . Aceasta convine pentru latitudini mici ($\varphi \approx 0$).

În cele ce urmează se prezintă cîteva metode pentru determinarea azimutului, în condițiile indicate mai sus.

Determinarea azimutului cu ajutorul unghiului orar al Stelei Polare. Steaua Polară, datorită declinației sale mari ($\delta = 88^\circ 46'$), prezintă două avantaje: este întotdeauna vizibilă în toată emisfera nordică și azimutul ei este foarte apropiat de 0° sau 180° .

Determinarea azimutului unui reper terestru constă în măsurarea unghiului dintre planele verticale ale reperului și Stelei Polare (unghiul orizontal) și determinarea azimutului Stelei Polare.

Pentru măsurarea unghiului orizontal: se determină înclinarea axei orizontale a instrumentului universal; se vizează reperul terestru și se citește la cercul orizontal; se vizează Steaua Polară, se citește momentul sideral al vizării, cercul orizontal și cel vertical; se repetă aceste vizări în ordine inversă; se aplică lunetei instrumentului o dublă răsturnare și se reiau toate operațiile de mai sus. Toate aceste operații formează o determinare; făcînd media citirilor din poziția directă și răsturnată, se elimină eroarea de colimație. Rezultă L_0 , L_* , Z_0 și Z_* .

Pentru determinarea azimutului Stelei Polare: se calculează unghiul orar pentru fiecare moment corespunzător determinat $H = 0 - \alpha$; se calculează azimutul prin formula 7.19. Avînd mai multe determinări, media acestora dă azimutul căutat A_* . În cazul cînd momentele T sînt exprimate în timp universal, se transformă în timp sideral (a se vedea capitolul 6). Rezultă azimutul reperului terestru

$$A_0 = A_* + L_0 - L_* + i_* \cotg Z_0 - i_* \cotg Z_* + 0'', 32 \frac{\cos \varphi}{\cos Z_*}. \quad (7.21)$$

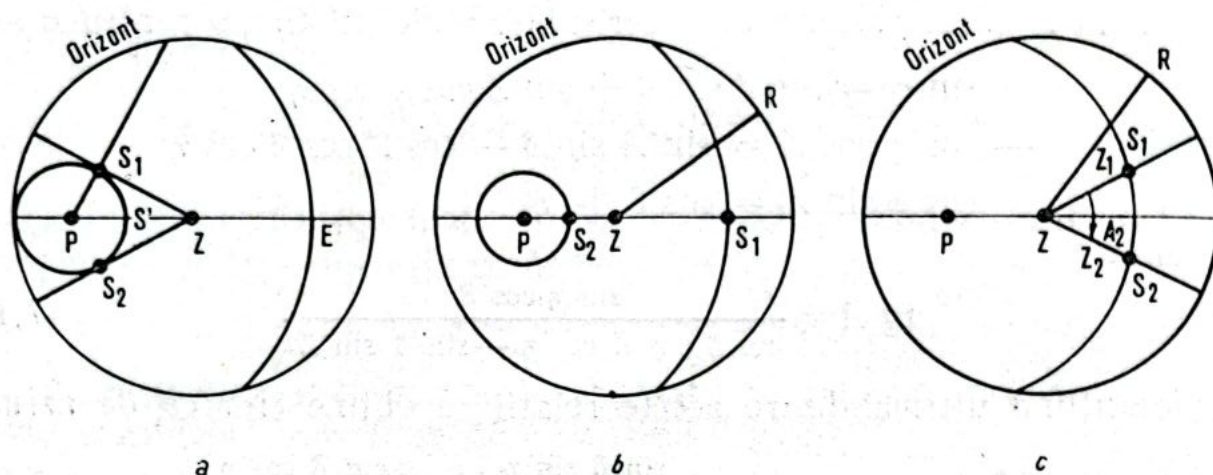


Fig. 7.13. Determinarea azimutului prin unghiul orar al stelei în vecinătatea elongației (a), prin unghiul orar al stelei în vecinătatea culminației (b) și prin distanțe zenitale (c).

Determinarea azimutului prin unghiul orar în vecinătatea elongației. Această metodă oferă un alt caz de minimizare a erorii dA . Steaua este în elongație când planul orar PS și cel vertical ZS al stelei (figura 7.12) sînt perpendiculare, deci unghiul paralactic $\eta = 90^\circ$ sau 270° . Ca elongația să aibă loc este necesar ca steaua să culmineze la nord de zenit (figura 7.13 a), adică $\delta > \varphi$.

Se procedează ca la metoda precedentă: se determină unghiul orizontal ($L_0 - L_*$) dintre reper și steaua aflată în elongație și se determină azimutul A_* al stelei cu formula sinusului, unde se consideră $\eta = 90^\circ$

$$\sin A = \cos \delta \sec \varphi. \quad (7.22)$$

Dar vizarea stelei se face în jurul momentului elongației, când azimutul rămîne practic constant. Momentul elongației se deduce din unghiul orar corespunzător, dat de a doua formulă a lui Gauss

$$\sin Z \cos \eta = \sin \varphi \cos \delta - \cos \varphi \sin \delta \cos H$$

și pentru $\eta = 90^\circ$

$$\cos H = \cotg \delta \tg \varphi \quad (7.23)$$

de unde două soluții pentru H corespunzătoare celor două elongații (vestică și estică). De aici momentul elongației $\theta = \alpha + H$.

În emisfera nordică se poate alege Steaua Polară. De obicei se observă perechi de stele, una în elongație estică alta în elongație vestică. Succesiunea observațiilor este următoarea: se calează instrumentul și se determină i ; se vizează reperul dat și se citesc cele două cercuri (orizontal și vertical); cu cîteva minute înainte de momentul elongației se

vizează steaua, se notează momentul sideral și se citesc cele două cercuri; se efectuează o dublă răsturnare și se repetă operațiile anterioare; pentru a doua stea se efectuează toate operațiile. Se obțin astfel două determinări.

Determinarea azimutului prin unghiul orar al stelei în vecinătatea culminației. În acest caz $A_* = 0^\circ$ sau 180° . Se aleg două stele S_1 și S_2 , una la sud și alta la nord de zenit (figura 7.13 b) care culminează una după alta ($\theta = \alpha$) și se determină momentul sideral al trecerii prin planul vertical al instrumentului. De aici unghiul orar $H = \theta - \alpha$ și azimutul A_* al celor două stele.

Determinarea azimutului prin distanțe zenitale. Prezintă marele avantaj că nu necesită o cunoaștere a momentului observației. S-a văzut că la această metodă efectul erorii de latitudine este nul pentru $H = 6^h$ sau 18^h , iar al distanței zenitale când $\eta = 90^\circ$.

Pentru reducerea ambelor erori se consideră două stele S_1 și S_2 (figura 7.13 c) la aceeași distanță zenitală, $Z_1 = Z_2$ și simetric față de planul meridian, $A_1 = 360^\circ - A_2$. Mersul operațiilor este următorul: se calează instrumentul, se vizează reperul și se citește cercul orizontal; se așază firul orizontal al reticulului lunetei înaintea stelei, să depășească firul vertical cu steaua pînă în momentul în care acesta traversează firul orizontal și se citesc cercurile și timpul; se repetă aceste operații cu luneta răsturnată; se repetă totul pentru steaua a doua a perechii alese. Reducerea observațiilor constă în: corectarea distanțelor zenitale observate de efectul refracției, calcularea azimutului stelei și calcularea azimutului reperului cu formula 7.21. În cazul când se observă o singură stea, este de preferat Steaua Polară în elongație, sau stele la $H = 90^\circ$ sau 270° .

Determinarea azimutului prin metoda înălțimilor egale. Revine la observarea unei stele în două poziții de aceeași înălțime; media aritmetică a celor două citiri pe cercul orizontal dă citirea corespunzătoare meridianei. Diferența dintre citirile corespunzătoare reperului și meridianei reprezintă azimutul căutat. Metoda este puțin precisă dar are marele avantaj că nu necesită cunoașterea coordonatelor stelei sau ale locului de observație. Mersul operațiilor este următorul: se calează instrumentul și se vizează reperul; se vizează o stea și se citesc ambele cercuri; se „răstoarnă” luneta, se vizează aceeași stea și se citesc ambele cercuri; se repetă de mai multe ori ultimele două operații înaintea trecerii stelei la meridian; după meridian se repetă operațiile pentru fiecare citire a cercului vertical înregistrată înainte de meridian; se calează instrumentul, se vizează reperul și se citesc ambele cercuri. Reducerile constau în: determinarea meridianei pe baza perechilor de citiri pe cercul orizontal,

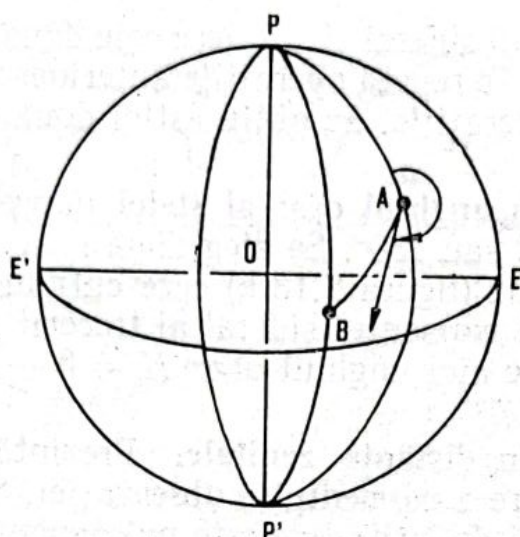


Fig. 7.14. Azimutul geodezic.

corespunzând înălțimilor egale și determinarea unghiului orizontal, deci a azimutului după formula

$$A_0 = L_0 - L_* + i_0 \cotg Z_0 - i_* \cotg Z_* + 0'',32 \frac{\cos \varphi}{\sin Z_*}. \quad (7.24)$$

În toate metodele menționate azimutul a fost considerat ca fiind cel astronomic. *Azimutul geodezic* este definit ca unghiul dintre meridianul geodezic și tangenta la curba de pe suprafață (figura 7.14) care este cea mai scurtă distanță dintre două puncte A și B (*geodezica*).

7.5. DETERMINAREA LATITUDINII GEOGRAFICE

Latitudinea geografică a unui punct pe suprafața terestră este unghiul format de verticala locului cu planul ecuatorului și este egal cu înălțimea polului deasupra orizontului (a se vedea figură 6.4). Pentru determinarea latitudinii se folosesc: metode aproximative ce utilizează mijloace foarte simple care se pot realiza în orice loc, metode cu precizia redusă (de ordinul secunde de arc) care necesită instrumente portabile (instrument universal, sextant, cronometru) și metode precise care necesită instrumente stabile, montate într-un observator astronomic (luneta meridiană, luneta de trecere, sistem de înregistrare a orei). Mai utilizate sînt primele două metode.

Metodele aproximative de determinarea latitudinii geografice se bazează pe relația simplă 6.4 dintre latitudinea geografică φ , declinația δ a unui astru și distanța sa zenitală Z_m determinată în planul meridian $\varphi = \delta \pm Z_m$, unde semnul $+$ corespunde culminațiilor la sud de zenit,

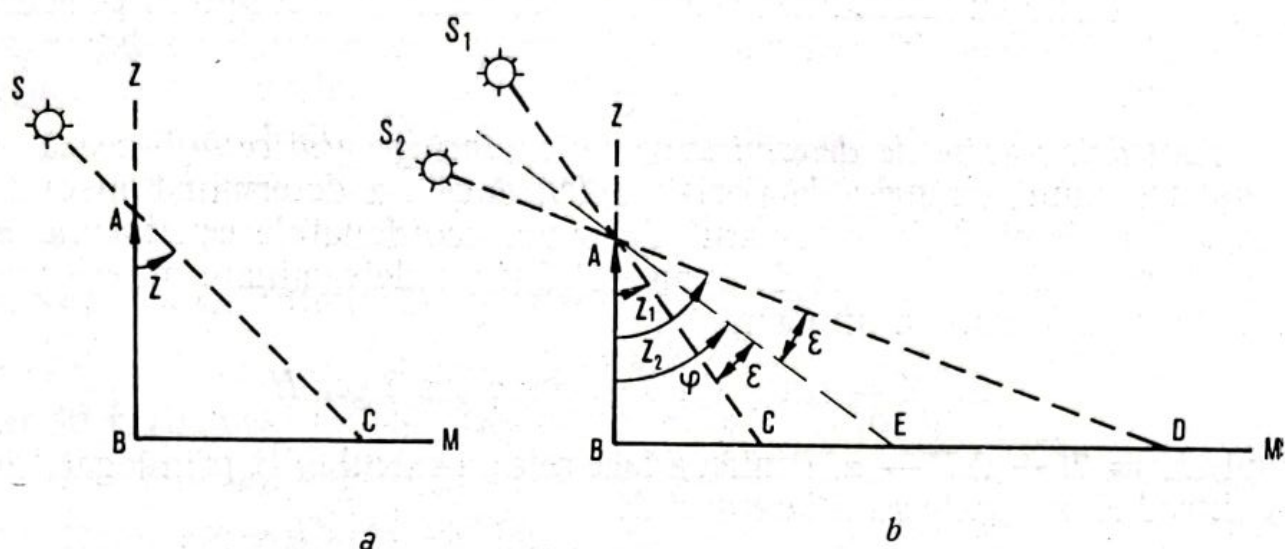


Fig. 7.15. Determinarea latitudinii geografice cu ajutorul Soarelui (a) și cu ajutorul determinărilor la solstiții (b).

iar semnul — culminațiilor la nord de zenit. Se utilizează gnomonul, o vergea înfiptă vertical în sol.

Cu ajutorul Soarelui. Fie BM direcția meridianei, determinată anterior prin metoda umbrelor egale. În momentul când umbra BC a gnomonului AB se află pe linia meridianei, se măsoară lungimea umbrei BC și a gnomonului AB (figura 7.15 a), iar

$$\operatorname{tg} Z_m = \frac{BC}{AB}.$$

Declinația δ a Soarelui pentru ziua respectivă este dată de un anuar astronomic (de exemplu *Anuarul Observatorului astronomic din București*) și latitudinea va fi

$$\varphi = \delta_{\odot} + Z_m \quad (7.25)$$

pentru latitudinile țării noastre numai cu semnul $+$ (deoarece $\varphi > \delta_{\odot}$).

Cu ajutorul determinărilor la solstiții. Considerînd gnomonul AB și direcția meridianei BM , determinată anterior, în ziua solstițiului de vară (aproximativ 22 iunie), se determină lungimea umbrei meridianei BC , de unde distanța zenitală Z_1 a Soarelui în poziția S_1 . În ziua solstițiului de iarnă (aproximativ 22 decembrie) se determină lungimea BD a umbrei meridianei de unde distanța zenitală Z_2 (figura 7.15 b). Cum planul AE al ecuatorului este plan de simetrie pentru cele două solstiții, rezultă $\widehat{CAE} = \widehat{EAD} = \varepsilon$ este înclinarea planului eclipticii pe ecuator, deci $\varphi = Z_1 + \varepsilon$ și $\varphi = Z_2 - \varepsilon$, de unde

$$\varphi = \frac{Z_1 + Z_2}{2} \quad \text{și} \quad \varepsilon = \frac{Z_2 - Z_1}{2}. \quad (7.26)$$

Se obține odată cu latitudinea geografică φ , înclinarea eclipticii pe ecuator ϵ . Această metodă, cea mai simplă, nu necesită decît o răbdare de șase luni.

Metodele precise de determinarea latitudinii geografice se bazează pe rezolvarea unui triunghi de poziție PZS , dacă s-a determinat distanța zenitală a stelei S , la momentul T , avînd coordonatele ecuatoriale α , δ și dispunînd de corecția de timp dT dintr-o determinare anterioară. După prima formulă a lui Gauss

$$\cos Z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos H$$

unde $H = T + \Delta T - \alpha$. Pentru a face relația calculabilă prin logaritmi se introduc mărimile auxiliare m și M

$$m \sin M = \sin \delta \quad \text{și} \quad m \cos M = \cos \delta \cos H$$

de unde $\operatorname{tg} M = \operatorname{tg} \delta \cos H$ deci

$$\cos Z = m \cos (\varphi - M) = \frac{\sin \delta \cos (\varphi - M)}{\sin M}$$

$$\cos (\varphi - M) = \frac{\cos Z \sin M}{\sin \delta} \quad (7.27)$$

Presupunînd că se dispune de coordonate ecuatoriale precise ($d\delta = 0$), se vede cum afectează eroarea în distanța zenitală (dZ) și în unghi orar (dH), determinarea latitudinii. Diferențiind prima relație, se obține

$$d\varphi = +\sec A \, dZ - \operatorname{tg} A \cos \varphi \, dH. \quad (7.28)$$

Eroarea $d\varphi$ în latitudine este minimă cînd coeficienții lui dZ și dH au valoarea minimă: coeficientul lui dZ , $\sec A = 1$ pentru $A = 0$ și coeficientul lui dH , $\operatorname{tg} A \cos \varphi = 0$ pentru $A = 0^\circ$ sau 180° . Rezultă necesitatea de a determina distanța zenitală în momentul trecerii stelei prin meridian. Chiar și la observații apropiate de meridian, corecția de timp ΔT se poate elimina dacă se alege două stele care se observă astfel încît valorile $\operatorname{tg} A$ în cele două cazuri să fie egale și de semne contrare.

Deci, determinarea de latitudine se bazează pe măsurări de distanță zenitală în meridian sau în apropiere de meridian, reducînd pe acestea din urmă la meridian. În cazul măsurărilor meridiene sursa cea mai importantă de erori este corecția de refracție astronomică, care se elimină dacă se utilizează pentru determinare perechi de stele care culminează la sud și la nord de zenit la distanțe zenitale egale.

La determinări extrameridiene este necesară o cunoaștere precisă a unghiului orar, deci a corecției de timp ΔT . Se utilizează un instrument

universal (sau un teodolit), un cronometru, un receptor radio, apoi un termometru și un barometru (pentru refracție).

Cu ajutorul distanțelor zenitale meridiane. Se vede din figura 6.7 că în cazul unei culminații la sud de zenit, S_1

$$\varphi = \delta + Z_s,$$

în cazul unei culminații la nord, S_2

$$\varphi = \delta - Z_N$$

iar în cazul unei culminații inferioare la nord de zenit

$$\varphi = \delta - 90 + \varphi + Z_N - 90 + \varphi, \text{ de unde } \varphi = 180^\circ - \delta - Z_N.$$

Determinarea este afectată îndeosebi de eroarea de refracție și de eroarea de așezare în meridian. În plus, este necesară cunoașterea zenitului instrumentului. Pentru reducerea erorilor se aleg două stele, la sud și la nord de zenit, care culminează la distanțe zenitale egale ($Z_s = Z_N$). Se obține

$$\varphi = \frac{1}{2} (\delta_s + \delta_N) + \frac{1}{2} (Z_s - Z_N)$$

cînd $Z_N < 90 - \varphi$ și

$$\varphi = \frac{1}{2} (\delta_s - \delta_N) + \frac{1}{2} (Z_s - Z_N) + 90^\circ$$

(7.29)

cînd $Z_N > 90 - \varphi$. De aici următoarele procedee: se așază instrumentul în meridian (prin metoda înălțimilor egale); se aleg perechile de stele, o stea care culminează la nord și alta la sud de zenit cu condiția ca $Z_N = Z_s$; $Z_s = \varphi - \delta_s$ și $Z_N = \varphi + \delta_N$ de unde

$$\delta_s = 2\varphi - \delta_N; \quad (7.30)$$

se observă prima stea a perechii, bisectînd steaua cu firul orizontal în momentul trecerii ei în dreptul firului vertical al reticulului, citirea pe cercul vertical este citirea zenitală a stelei; se repetă procedeul cu a doua stea a perechii; se citește presiunea și temperatura, pentru corectarea constantei de refracție; se calculează latitudinea.

Cu ajutorul distanței zenitale a Stelei Polare. Dacă Steaua Polară ar fi observată la culminație, ar rezulta

$$\varphi = \delta - Z_m = \delta - 90 + h_m = h - (90 - \delta) = h_m - p \quad (7.31)$$

unde p — este distanța polară a stelei. În afara meridianului (dar în vecinătatea lui) distanța zenitală măsurată Z_i se reduce la meridian

$$Z_m = Z_i + \Delta Z_i = 90 - h_m = 90 - (h_i + \Delta h_i) \quad (7.32)$$

deci

$$\varphi = h - (p - \Delta h) = h - x. \quad (7.33)$$

Din triunghiul PZS rezultă

$$\sin h = \cos p \sin \varphi + \sin p \cos \varphi \cos H \quad (7.34)$$

unde $p = 90 - \delta$ se cunoaște din catalog, iar h și H se determină din observații; deci rezultă φ . Deoarece $x = p - \Delta h < 1^\circ$

$$\begin{aligned} \sin \varphi &= \sin(h - x) = \sin h - x \cos h - \frac{1}{2} x^2 \sin h + \frac{1}{3} x^3 \cos h + \dots \\ \cos \varphi &= \cos(h - x) = \cos h + x \sin h - \frac{1}{2} x^2 \cos h - \frac{1}{3} x^3 \sin h + \dots \end{aligned} \quad (7.35)$$

iar

$$\sin p = p - \frac{1}{6} p^3 + \dots$$

$$\cos p = 1 - \frac{1}{2} p^2 + \dots$$

care înlocuite în relație, ne dau

$$\begin{aligned} x &= p \cos H - \frac{1}{2} (x^2 - 2xp \cos H + p^2) \operatorname{tg} h + \\ &+ \frac{1}{x} (x^3 - 3x^2 p \cos h - 3xp^2 - p^3 \cos H) + \dots \end{aligned} \quad (7.36)$$

care se rezolvă prin aproximații succesive. În prima aproximație

$$x_1 = p \cos H.$$

Aproximația a doua se obține înlocuind această valoare în (7.35) și neglijând termenii de ordin superior lui doi

$$x_2 = p \cos H - \frac{p^2}{2} (\cos^2 H - 2 \cos^2 H + 1) \operatorname{tg} h = p \cos H - \frac{1}{2} p^2 \sin^2 H \operatorname{tg} h$$

care oferă valoarea lui x cu o eroare mai mică de $0'',1$.

De aici

$$\varphi = h - x_2 = h - p \cos H - \frac{1}{2} p^2 \sin^2 H \operatorname{tg} h. \quad (7.37)$$

Pentru realizarea acestei metode se fac în jur de 20 de observații ale Stelei Polare în poziția directă și răsturnată a lunetei, pentru fiecare

înregistrînd timpul sideral și citind distanța zenitală, temperatura și presiunea, ultimele două pentru corecția de refracție. O pereche de observații (în poziție directă și inversă) ne oferă o determinare pentru latitudine.

O metodă mai precisă se obține din combinarea acestei metode cu cea precedentă. Se fac cinci determinări (în poziție directă și inversă) cu ajutorul Stelei Polare. Apoi cîte cinci determinări înainte și după trecerea la meridian a unei stele la sud de zenit la aceeași înălțime cu a Stelei Polare. Se fac apoi încă cinci determinări cu Steaua Polară. Calculele după metodele indicate dau φ_P și φ_S a căror medie dă latitudinea

$$\varphi = \frac{1}{2} (\varphi_P + \varphi_S). \quad (7.38)$$

Prin observarea stelei în primul vertical (metoda Struve). Primul vertical este verticalul perpendicular pe planul meridian al locului de observație (deci $A = 90^\circ$ sau 270°). Ca steaua să treacă prin primul vertical este necesar ca $0 < \delta < \varphi$, deci să culmineze la sud de zenit.

Din triunghiul de poziție PZS al stelei

$$\sin \delta = \sin \varphi \cos Z - \cos \varphi \sin Z \cos A = \sin \varphi \cos Z$$

$$\cos Z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos H$$

și substituind $\cos Z = \sin \delta / \sin \varphi$ din relația precedentă

$$\cos H = \cotg \varphi \operatorname{tg} \delta$$

de unde

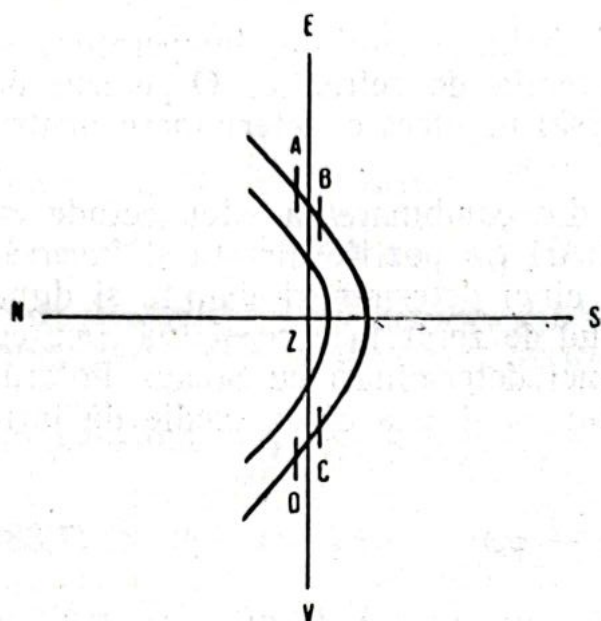
$$\cotg \varphi = \frac{\cos H}{\operatorname{tg} \delta}. \quad (7.39)$$

Metoda necesită determinarea lui H cu maximum de precizie. Se observă steaua în trecerea ei prin primul vertical în planul ZE în poziție directă și răsturnată, apoi prin planul ZV (figura 7.16). Rezultatul nu este afectat de refracție dar înclinarea i intervine în întregime în determinarea lui

$$\varphi' = \varphi + i. \quad (7.40)$$

Se aleg mai multe stele care au declinația apropiată de φ fără a o depăși. Metoda este foarte simplă întrucît presupune că se cunosc cu precizie doar coordonatele α , δ ale stelei și aproximativ latitudinea φ , necesară găsirii momentului aproximativ al trecerii stelei prin primul vertical. Aceste momente se determină cu maximum de precizie cu

Fig. 7.16. Determinarea latitudinii prin treceri în primul vertical.



ajutorul unui micrometru cu fire sau cu un instrument universal la ocularul căruia s-a atașat un micrometru cu fire. Instrumentul propriu acestei metode este luneta de treceri. În plus se determină înclinarea cât mai precis posibil.

Pentru a aplica această metodă, trebuie să intervină în calcule însăși momentele trecerilor stelei la un același fir. Se consideră că în centrul sferei cerești se află luneta de trecere (sau teodolitul) a cărei axe de rotație intersectează sfera cerească nu în punctul vest, ci în punctul A de coordonatele orizontale a' și b (înclinarea) și de coordonate orare $90 - m$ și n . Datorită colimației, steaua este văzută în σ , cu $A\sigma = 90^\circ + c$. Din triunghiul PAZ (figura 7.17)

$$\sin n = \sin b \sin \varphi - \cos b \cos \varphi \sin a'$$

$$\cos n \sin m = \sin b \cos \varphi + \cos b \sin \varphi \sin a'$$

$$\cos n \cos m = \cos b \cos a'.$$

În primul vertical azimutul A va fi $-a = 90 + a'$, de unde $a' = -(90 + a)$; unghiul orar t

$$t = 90 - m = 180 + \lambda, \text{ de unde } m = -(90 + \lambda), \text{ deci}$$

$$\sin m = \sin b \sin \varphi + \cos b \cos \varphi \cos a$$

$$\cos n \cos \lambda = -\sin b \cos \varphi + \cos b \sin \varphi \cos a$$

unde $\sin b = h \sin \beta$, $\cos b \cos a = h \cos \beta$ și $\beta \approx b$

de unde

$$\cotg n \cos \lambda = \tg (\varphi - \beta).$$

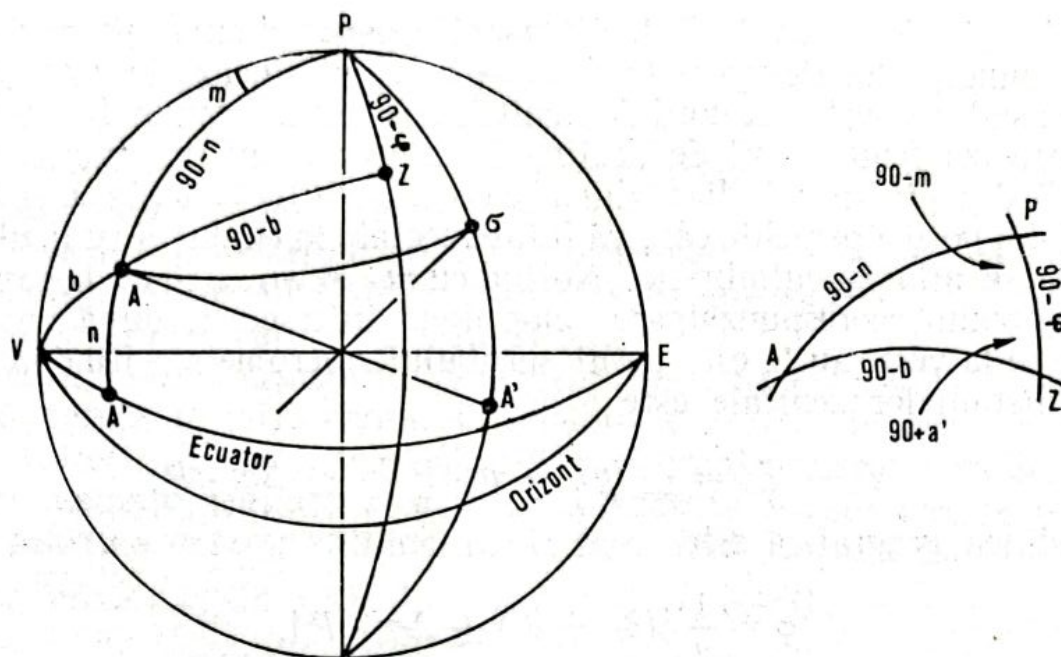


Fig. 7.17. Determinarea latitudinii prin metoda Struve.

Din triunghiul $PA\sigma$, apoi $PA'\sigma$ se obține

$$-\sin c = \sin n \sin \delta + \cos n \cos \delta \cos t$$

$$+\sin c = \sin n \sin \delta + \cos n \cos \delta \cos t'$$

și însumându-le

$$\cotg n = \tg \delta \sec \frac{1}{2} (t + t') \sec \frac{1}{2} (t - t'). \quad (7.41)$$

Egalînd cele două expresii pentru $\cotg n$

$$\tg (\varphi - \beta) = \tg \delta \sec \frac{1}{2} (t + t') \sec \frac{1}{2} (t - t') \cos \lambda \quad (7.42)$$

în care

$$t = \frac{t_4 - t_1}{2}, \quad t' = \frac{t_3 - t_2}{2} \quad \text{și} \quad \lambda = \frac{t_4 + t_1}{2} = \frac{t_3 + t_2}{2}$$

$t_1, \dots, t_4$ fiind momentele trecerilor stelei la unul din fire

$$\varphi = (\varphi - \beta) + \beta. \quad (7.43)$$

Metoda Horrebow-Talcott. Această metodă este larg utilizată datorită preciziei sale mari, întrucît determinarea constă în măsurarea micrometrică a diferenței distanțelor zenitale a două stele în momentul culminației lor, una la sud, alta la nord de zenit. Instrumentul utilizat poate fi o lunetă de treceri sau un instrument universal prevăzut cu un micrometru ocular (avînd un fir de declinație mobil), curbele dispu-

rînd de cîte două nivele Talcott, aşezate perpendicular pe axa de rotaţie a lunetei. Se aleg perechi de stele care culminează la aceeaşi înălţime la sud, respectiv la nord de zenit, încît văzînd steaua din sud, care intersectează firul mobil de declinaţie în momentul traversării firului vertical din planul meridian, după ce se „răstoarnă” luneta se regăseşte steaua din nord a perechii, care va fi intersectată la rîndul ei cu firul mobil cînd ea se află la culminaţie. Notînd cu m_v şi m_E citirile la tamburul micrometrului, corespunzătoare celor două intersecţii, după cum ocularul este la vest sau la est, pasul şurubului micrometric fiind R , diferenţa distanţelor zenitale este

$$Z_s - Z_N = \pm (m_v - m_E)R = \pm \Delta m \cdot R. \quad (7.44)$$

Latitudinea geografică este

$$\varphi = \frac{1}{2} [(\delta_N + \delta_s) \pm \Delta m \cdot R]. \quad (7.45)$$

Dar diferenţa măsurată a distanţelor zenitale este necesar să fie completată cu: corecţia de înclinare, corecţia de refracţie diferenţială şi cu reducerea la meridian (eventual). Înclinarea b rezultă din citirile celor două nivele Talcott la fiecare culminaţie

$$b = \frac{1}{2} \frac{d_1}{4} [(N_1 + S_1)_v - (N_2 + S_2)_E] + \frac{d_2}{4} [(N_2 + S_2)_v - (N_1 + S_1)_E] \quad (7.46)$$

unde N_1, S_1 — sînt citirile la extremităţile nord şi sud ale bulei uneia din nivele, iar d_1 respectiv d_2 — valorile în secunde de arc a unei diviziuni a nivelei. Corecţia de refracţie diferenţială este

$$\Delta r = r_1 - r_2 = A_1 (\operatorname{tg} Z_s - \operatorname{tg} Z_N) = A_1 \frac{\sin (Z_s - Z_N)}{\cos Z_s \cos Z_N}$$

$$\Delta r \approx 57''{,}9 \sin (Z_s - Z_N) \sec^2 Z_s \quad (7.47)$$

unde $A_1 = 57''{,}9$ — este constanta refracţiei (pentru $Z = 45^\circ$, presiunea şi temperatura normală), iar pentru simplificare s-a admis $\cos Z_s \approx \cos Z_N$.

În cazul în care firul vertical al micrometrului nu se află în meridian, ci în apropierea lui, este necesară reducerea la meridian după formula

$$\Delta Z = \sin 2\delta \sin^2 \frac{1}{2} H / \sin 1''. \quad (7.48)$$

Formula completă pentru determinarea latitudinii este

$$\varphi = \frac{1}{2} (\delta_N + \delta_S) \pm \Delta m \frac{R}{2} + b + \frac{1}{2} \Delta r + \frac{1}{2} (\Delta Z_N + \Delta Z_S). \quad (7.49)$$

În metodele descrise mai sus se determinau: distanțele zenitale, momentul trecerii stelei la un fir, sau ambele. Realizarea lor necesită: un instrument universal cu micrometru ocular sau o lunetă de trecere. Când se dispune doar de un teodolit, fără un micrometru, se utilizează alte metode, dintre care se amintesc două.

Metoda Pevțov. Constă în observarea perechilor de stele la aceeași distanță zenitală (almucantarat comun) $Z_S = Z_N$. În acest scop se observă trecerea fiecărei stele prin firul orizontal (imobil), corespunzând aceleiași distanțe zenitale Z și se corectează la fiecare trecere poziția nivelei pentru a se reduce la înclinarea zero. Din formula fundamentală

$$\begin{aligned} \cos Z_N &= \sin \varphi \sin \delta_N + \cos \varphi \cos \delta_N \cos H_N = \\ &= \sin \varphi \sin \delta_S + \cos \varphi \cos \delta_S \cos H_S = \cos Z_S \end{aligned}$$

rezultă

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\cos \delta_S \cos H_S - \cos \delta_N \cos H_N}{\sin \delta_N - \sin \delta_S} \quad (7.50)$$

dar este necesară cunoașterea corecției cronometrului.

Pentru a diminua efectul erorilor de observație și instrumentale, se recomandă ca intervalul de timp dintre observarea celor două stele ale cuplului să fie între 5^m și 25^m ; $15^\circ \leq Z \leq 60^\circ$; $180^\circ \leq A_N \leq 220^\circ$. Pentru cuplurile corespunzând metodei Pevțov există un catalog special valabil pentru $40^\circ \leq \varphi \leq +60^\circ$.

Prin măsurări azimutale. Se presupune că se cunoaște dinainte direcția meridianei sau citirea A_0 orizontală corespunzătoare unui reper terestru. Se consideră o stea în vecinătatea primului vertical, la care se notează momentul T_i al trecerii prin firul vertical al lunetei și citirea azimutală corespunzătoare A_i , presupunînd cunoscută corecția ΔT a cronometrului. Se repetă această operație alternativ cu cercul la dreapta și cu cercul la stînga. Se obține

$$H_i = T_i + \Delta T_i - \alpha$$

$$\sin Z_i = \frac{\sin H_i \cos \delta}{\sin A_i}; \quad p = 90 - \delta$$

$$\cotg \frac{\varphi}{2} = \operatorname{tg} \frac{p+z}{2} \cdot \frac{\cos \frac{H-A}{2}}{\cos \frac{H+A}{2}} = \operatorname{tg} \frac{p-z}{2} \cdot \frac{\sin \frac{H-A}{2}}{\sin \frac{H+A}{2}} \quad (7.51)$$

citirile A_i se corectează de colimație și înclinare.

7.6. DETERMINAREA LONGITUDINII GEOGRAFICE

Longitudinea geografică a unui punct de pe suprafața terestră este unghiul format de planul meridian al locului cu planul meridian al observatorului de la Greenwich. Se măsoară în planul ecuatorului, considerându-se pozitivă spre est de Greenwich de la zero la 360° sau 24^h .

După cum s-a arătat la punctul 6.7 diferența longitudinilor a două localități este egală cu diferența timpurilor locale

$$L_B - L_A = t_B - t_A.$$

Dacă localitatea A este Greenwich

$$L_B = B = t_s - t_g. \quad (7.52)$$

Timpul local cel mai accesibil, care rezultă direct din observații, este timpul sideral θ , se obține

$$t_B = \theta_B = \alpha + H + \Delta L_p \quad (7.53)$$

unde ΔL_p — este variația datorită deplasării polului, de unde rezultă în mod necesar că și $t_g = \theta_g$

$$t_g = \theta_g = T + C_{p_0} + m(T - T_0) \quad (7.54)$$

deci

$$L_B = \alpha + H + \Delta L_p - T - C_{p_0} - m(T - T_0) \quad (7.55)$$

unde T — este momentul citit al determinării lui H , C_{p_0} — corecția la momentul inițial T_0 , iar m — mersul pendulei sau cronometrului care dă timpul T . Se presupune că pendula dă timpul T în unități siderale. În acest caz, corecția C_{p_0} se determină prin compararea la momentul T_0 cu semnalele orare exprimate în timpul universal coordonat (TUC). Deci

$$C_{p_0} = T_0 - TUC_0 - (TUI_0 - TUC_0) - (\theta_0 - TUI_0) - L_0 \quad (7.56)$$

unde prima paranteză reprezintă corecția timpului universal coordonat față de timpul universal corectat de deplasarea Polului Nord, iar a doua paranteză corecția de trecere de la timpul universal TUI_0 la timpul sideral θ_0 corespunzător, L_0 fiind longitudinea presupusă a locului. Rezultă pentru longitudine

$$L = \alpha + H + \Delta L_p - T - C_{p_0} - m(T - T_0) \quad (7.57)$$

unde C_{p_0} — este dat de formula (7.56).

Pentru cazul cînd momentele T sînt exprimate în timp mediu există o formulă similară

$$L = \alpha + H + \Delta L_p - [T_M + C_{po} - m(T_M - T_{M_0}) + (TUI - TUC) + (\theta - TUI)]. \quad (7.58)$$

Problema longitudinii este de a cunoaște la un același moment timpul sideral local și timpul sideral de la Greenwich. Numeroasele metode de determinare a longitudinii se pot grupa în trei categorii: metode indirecte de transport a timpului (cu ajutorul semnalelor cerești sau terestre); metode directe de transport a timpului (cu ajutorul cronometrelor); metode lunare (cu ajutorul mișcării și poziției Lunii).

Metodele indirecte de transport a timpului constau în observarea simultană a unui fenomen ceresc sau semnal terestru la Greenwich și în localitatea în care se face determinarea. Fenomenele cerești frecvente și ușor observabile sînt eclipsele de Lună și eclipsele sateliților lui Jupiter. Se notează momentul producerii acestor fenomene în unul din timpurile locale ale celor două localități. Anuarele astronomice indică momentele producerii lor în timpul sideral de la Greenwich, iar notarea fenomenului în timpul sideral local ne oferă toate datele necesare determinării longitudinii. Aceste determinări sînt mai puțin precise din cauza delimitării precare a umbrei și penumbrei.

Mai precise sînt determinările cu ajutorul eclipselor de Soare și a ocultării stelelor de către Lună sau planete. Acestea se utilizează în special pentru determinări pe mare.

Semnalele optice terestre (ziua cu oglinzi, noaptea cu semnale cu sclipiri) au fost utilizate în trecut pentru distanțe pînă la 75 km, ele trebuind să fie vizibile din cele două puncte date. Se cerea pe lîngă observarea precisă a semnalelor, cunoașterea corecției și mersului ceasului în cele două localități.

O metodă mai precisă — cea mai precisă pentru transportul timpului — este aceea a semnalelor orare obținute pe calea undelor radio. O serie de observatoare dispun de servicii orare, a căror misiune constă în determinarea orei, păstrarea ei cu ajutorul orologiilor de precizie (cu cuarț sau atomice) și transmiterea ei prin semnale orare sau permanente. În timp ce primele se emit zilnic după un program stabilit, cele din urmă se emit în mod continuu, marcînd secunda și minutul. Buletine orare lunare comunică corecțiile de emisie ale semnalelor, care se mai corectează cu timpul necesar propagării lor. În acest fel, în orice punct, cu ajutorul unui receptor radio, se poate obține timpul de la Greenwich.

Metodele directe de transport a timpului se bazează pe transportul timpului unei localități A în a doua localitate B cu ajutorul unui

cronometru. Cunoscînd longitudinea L_A a primei localități se determină diferența de longitudine ΔL a celei de a doua față de prima, după cum urmează: în localitatea A la momentul citit U_0 se cunoaște corecția ΔU_0 și mersul $\Delta^2 U_0$ al cronometrului, deci timpul local la un moment oarecare U citit va fi

$$T = U_0 + \Delta U_0 + (U - U_0) \Delta^2 U_0. \quad (7.59)$$

Se transportă cronometrul în localitatea B , unde la momentul citit U_1 se cunoaște corecția ΔU_1 și mersul $\Delta^2 U_1$, pentru acest moment timpul local va fi

$$T = T_B + U_1 + \Delta U_1 \quad (7.60)$$

iar timpul localității A pentru același moment

$$T_A = U_1 + \Delta U_0 + (U_1 - U_0) \frac{\Delta^2 U_0 + \Delta^2 U_1}{2} \quad (7.61)$$

unde ultimul termen s-a considerat media mersului dinaintea și din urma transportului, deoarece, cu toate precauțiile considerate la transport, mersul este afectat de pe urma lui.

Diferența de longitudine $\Delta L = L_B - L_A$ va fi

$$\Delta L = T_B - T_A = \Delta U_1 - \Delta U_0 - (U_1 - U_0) \frac{\Delta^2 U_0 + \Delta^2 U_1}{2} \quad (7.62)$$

considerată cu semnul $+$ sau $-$ după cum localitatea B este spre est sau spre vest față de localitatea A . Deci

$$L_B = L_A \pm \Delta L. \quad (7.63)$$

Metodele lunare sînt utilizate pentru determinări aproximative de longitudini, întrucît Luna e ușor observabilă pe mari întinderi ale suprafeței terestre. Cele trei metode lunare sînt: prin distanțe lunare, prin culminații și prin înălțimi ale Lunii.

Luna mișcîndu-se repede printre stele, distanțele ei față de Soare, planetele mari și față de stelele strălucitoare (nouă stele numite lunare) variază. În efemeridele astronomice sînt date, din 3^h în 3^h distanțele unghiulare față de aceste stele. Dacă într-un loc se măsoară distanța Lunii la una dintre aceste stele (corectată apoi de efectul refracției și al paralaxei) la un moment dat (în timp local) și din efemeride se deduce timpul de la Greenwich corespunzător aceleiași distanțe, diferența lor este longitudinea locului de observație. Această metodă se poate pune în practică cu ajutorul unui sextant și este utilizată cu precădere pe mare.

Cu o lunetă de treceri sau cu un instrument universal, așezat precis în planul meridian al locului, se poate determina momentul culminației T_c . Observînd înainte și după culminația Lunii, trecerea prin planul meridian a cîtorva stele apropiate, se determină erorile instrumentale și de așezare ale instrumentului, ca și corecția ΔT a timpului local

$$\Delta T = \alpha_* - T_*.$$

Determinînd momentul culminației Lunii T_c , care este media trecerilor celor două margini ale discului lunar, se obține ascensia ei

$$\alpha_c = T_c + \Delta T$$

care corespunde unui moment în timp sideral Greenwich. Diferența dintre timpul sideral local și cel de la Greenwich reprezintă longitudinea.

La un moment dat θ se determină distanța zenitală Z_c într-un loc de latitudine φ cunoscută, știind coordonata α_c și δ_c din efemeride. Din triunghiul de poziție PZL (figura 7.18) se determină unghiul orar H_c , din care rezultă α_{c_0} = ascensia dedusă din observații. Diferența dintre α_{c_0} și α_c dedusă din efemeride dă longitudinea locului. Este de arătat că θ s-a determinat cu ajutorul unei valori provizorii a longitudinii, deci după determinarea longitudinii, se repetă calculul cu noua ei valoare. Prin aproximații succesive se deduce valoarea definitivă a longitudinii.

Metodele menționate mai sus au un caracter nu numai aproximativ ci și istoric. Dezvoltarea și perfecționarea lor a dus la metode precise, din care se prezintă cîteva în continuare.

Oricare ar fi metoda utilizată, longitudinea fiind dată de diferența dintre timpul sideral Greenwich și timpul sideral local, determinarea ei constă în obținerea și păstrarea acestor două timpuri. Prima parte constă în determinarea timpului sideral de la Greenwich, care se rezolvă azi mai ușor, prin transmiterea lui pe calea semnalelor radio. Deci sînt necesare: un receptor radio pentru semnale, un cronometru (sau orologiu cu cuarț) pentru păstrarea timpului și un cronograf pentru înregistrarea lui. Semnalele orare emise în mod continuu (23 ore din cele

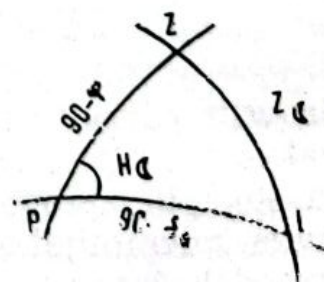


Fig. 7.18. Determinarea longitudinii prin metode lunare.

24 ale zilei) se înregistrează pe banda cronografului, odată cu impulsurile bătailor cronometrului. Din compararea lor se deduce corecția ΔT_o pentru momentul T_o și mersul cronometrului $\frac{d\Delta T_o}{dt}$ și

$$\theta_o = T + \Delta T_o + \frac{d\Delta T_o}{dt} (T - T_o). \quad (7.64)$$

A doua parte constă în calcularea timpului sideral local $\theta = \alpha + H$, prin determinarea unghiului orar H . În acest scop se fac observații extrameridiane de distanțe zenitale din care se calculează unghiul orar, sau observații meridiane când $H = 0^h$ sau 12^h . Se utilizează un instrument universal (sau teodolit) cu micrometru pentru treceri, sau o lunetă de treceri.

Prin distanțe zenitale. Fie o stea de coordonate ecuatoriale α, δ extrase din efemeride, la care s-a măsurat distanța zenitală Z la momentul U în localitatea de latitudine φ . După prima formulă a lui Gauss, din triunghiul cunoscut PZS

$$\cos Z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos H$$

de unde

$$\cos H = \frac{\cos Z - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta}. \quad (7.65)$$

Timpul sideral local este $\theta = \alpha + H = U + \Delta U$.

Diferențiind formula pentru $\cos Z$ se obține

$$dH = \frac{dZ}{\cos \varphi \sin A} - \frac{d\varphi}{\cos \varphi \operatorname{tg} A} + \frac{d\delta \cos q}{\cos \varphi \sin A} \quad (7.66)$$

de unde rezultă că eroarea determinării unghiului orar este minimă când $\sin A$, respectiv $\operatorname{tg} A$ au valori maxime, pentru $A = \pm 90^\circ$, adică în cazul observațiilor din jurul primului vertical; considerînd după teorema sinusului

$$\cos \varphi \sin A = \cos \delta \sin q$$

formula erorilor devine

$$dH = \frac{dZ}{\cos \delta \sin q} - \frac{d\varphi}{\cos \delta \sin q \sec A} + \frac{d\delta}{\cos \delta \operatorname{tg} q}. \quad (7.67)$$

Se vede că pentru valorile maxime ale lui $\cos \delta$, dacă $\delta = 0$, dH are valoare minimă. Deci sînt de preferat măsurări ale distanțelor zenitale la stele în apropierea primului vertical, cu declinație cît mai mică. Luna îndeplinind aceste condiții, utilizarea ei este justificată (a se vedea metodele lunare).

Mai multe posibilități și o mai mare precizie oferă stelele observate în condițiile de mai sus. Se aleg perechi de stele, la est și vest, a căror distanțe zenitale în primul vertical să nu difere cu mai mult de 1° și care să treacă prin dreptunghiul: la est $265^\circ < A < 275^\circ$ și $30^\circ < h < 40^\circ$; la vest $85^\circ < A < 95^\circ$ și $30^\circ < h < 40^\circ$.

Pentru observația dintr-o seară dată: se calculează timpul sideral pentru momentul începutului și sfârșitul perioadei de observație; se calculează valorile limită ale dreptunghiului de mai sus (de observație) pentru H și δ , după formulele

$$\begin{aligned} \sin \delta &= \cos Z \sin \varphi - \sin Z \cos \varphi \cos A \\ \cos H &= \frac{\cos Z - \sin \varphi \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta} \end{aligned} \quad (7.68)$$

se aleg perechi de stele dintr-un catalog stelar sau dintr-un anuar astronomic care satisfac aceste condiții; pentru fiecare stea aleasă se determină momentul sideral al trecerii prin primul vertical ($\theta = \alpha + H$) și distanța zenitală la intrarea în dreptunghiul de observație.

Observația se face în modul următor: se așază instrumentul universal la distanța zenitală și azimutul de intrare a stelei în dreptunghiul de observație cu 10 minute înainte de trecerea la primul vertical. Se fac patru punctări directe și (după dublă „răsturnare” patru punctări inverse. Punctarea se face înregistrând momentul trecerii stelei prin firul orizontal a cărui distanță zenitală e dată de cercul vertical; de obicei, micrometrul instrumentului dispune de mai multe fire orizontale echidistante și media momentelor de intersecție corespunde distanței zenitale medii a acestor fire. Se repetă aceeași operație pentru a doua stea. Se recomandă însă ca între momentul trecerii primei stele la ultimul fir și cel al celei de a doua stea la primul fir să nu treacă mai mult de 15 minute, pentru a admite condiții atmosferice identice. Înainte și după fiecare stea se citește temperatura și presiunea atmosferei.

La distanțele zenitale astfel determinate se aplică corecția de refracție și de aberație diurnă.

Calculul se face astfel: se calculează unghiul orar pentru distanța zenitală medie a unei perechi de punctări (directă și răsturnată) a stelei (prin formulele de mai sus se deduce unghiul orar, timpul sideral local și longitudinea, pentru fiecare pereche de punctări); pentru fiecare stea se obține o determinare rezultând din media determinărilor pe perechi de punctări; longitudinea este media celor două determinări pentru cele două stele alese.

Prin înălțimi egale (Metoda Zinger). Timpul sideral local în momentul culminării superioare (sau inferioare) a unei stele este ascensia acesteia. Dar momentul trecerii prin planul meridian este media momen-

telor la care steaua atinge aceeași înălțime la est și la vest de meridian. Punînd și condiția ca erorile sistematice să fie minime, observațiile trebuie să fie efectuate în vecinătatea primului vertical. Rezultă că sînt necesare cîteva ore între cele două serii de observații — est și vest — ale aceleiași stele, fapt care constituie un inconvenient pentru determinarea longitudinii.

Se poate evita acest neajuns, formînd cupluri de stele cu aceeași declinație și aceeași altitudine (înălțime), la est și vest în primul vertical. Condițiile de realizat sînt

$$-H_E = H_V; -A_E = A_V = 90^\circ; \delta_E = \delta_V; Z_E = Z_V = Z_0. \quad (7.69)$$

Conform definiției

$$L = \theta - \theta_G = \alpha + H - \theta_G. \quad (7.70)$$

Pentru cele două stele ale cuplului (sau cele două observații est și vest ale aceleiași stele)

$$L' = \alpha_E + H_E - \theta_{GE} = \alpha_V + H_V - \theta_{GV} \quad \text{sau} \\ L' = \frac{\alpha_E + \alpha_V}{2} + \frac{H_E + H_V}{2} - \frac{\theta_{GE} + \theta_{GV}}{2} \quad (7.71)$$

care este formula fundamentală.

Întrucît mărimile din membrul doi sînt afectate de erori, rezultă

$$dL' = -\frac{d\theta_{GE} + d\theta_{GV}}{2} + \frac{d\alpha_V + d\alpha_E}{2} + \frac{d(Z_V - Z_E)}{2 \sin A \cos \varphi} + \frac{\cos q(d\delta_V - d\delta_E)}{2 \sin A \cos \varphi} \quad (7.72)$$

deoarece s-a exprimat dH prin formula (7.67) unde latitudinea este presupusă cunoscută ($d\varphi=0$).

De aici rezultă, cu condițiile date, formula lui Zinger

$$L = L' + dL' = \alpha + \delta\alpha - \theta_G + \delta\theta_G + y \quad (7.73)$$

unde

$$\alpha = \frac{\alpha_E + \alpha_V}{2} \quad \text{și} \quad \theta_G = \frac{\theta_{GE} + \theta_{GV}}{2},$$

iar $\delta\alpha = 0.021 \cos Z$, este corecția de aberație diurnă,

$\delta\theta_G = \frac{\Delta b \cdot \tau}{30 \sin A_V \cos \varphi}$ este corecția datorită diferenței de distanță zenitală a stelelor cuplului în momentul trecerii lor prin primul vertical, diferență determinată cu nivela Talcott, b — fiind deplasarea (în diviziuni) a bulei nivelei de la o poziție la alta, iar τ — valoarea un-

ghiulară a unei diviziuni, θ_0 considerându-se corectat de erorile de determinare

$$y = n - m \quad \text{unde}$$

$$\operatorname{tg} m = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} H} \operatorname{tg} \varepsilon \quad \text{și} \quad \sin n = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} H} \operatorname{tg} \varepsilon \cos m \quad (7.74)$$

iar

$$H = \frac{H_E + H_V}{2}, \quad \delta = \frac{\delta_E + \delta_V}{2} \quad \text{și} \quad \varepsilon = \frac{\delta_V - \delta_E}{2}.$$

Pentru valorile n , m și y sînt întocmite tabele auxiliare.

Din observații se determină momentele θ_{GE} și θ_{GV} , ca și $d(Z_V - Z_E)$ cu ajutorul nivelei Talcott. Se utilizează un instrument universal avînd un fir orizontal. În cazul instrumentului cu mai multe fire, se reduce numărul cuplelor de observat. Metoda fiind foarte precisă, se utilizează la determinarea longitudinilor de ordinul I.

Dificultatea găsirii cuplelor de stele cu aceeași declinație și aceeași distanță zenitală pentru $A=90^\circ$ se rezolvă principal în modul următor: se reprezintă pentru ambele stele variația distanței zenitale în funcție de timp. Intersecția celor două drepte dă momentul θ_0 pentru distanțe zenitale egale (figura 7.19). Pentru latitudini nordice s-au întocmit efemeride pentru cuple Zinger.

Metoda trecerii prin meridianul locului (Mayer). Se bazează direct pe relația fundamentală

$$\theta = \alpha + H$$

unde $\theta = T + u$, T — fiind indicația cronometrului, iar u — corecția lui. În meridian $H=0$, deci pentru culminații superioare

$$u = \alpha - T \quad (7.75)$$

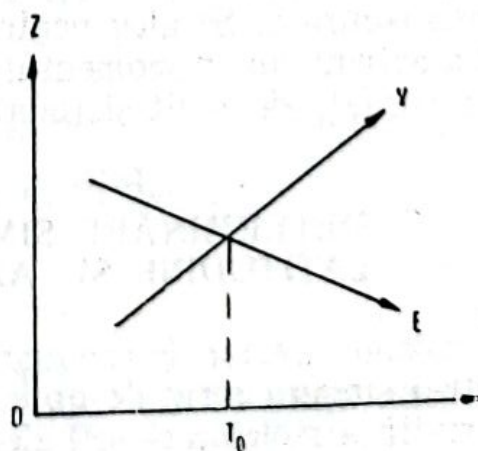


Fig. 7.19. Alegerea stelelor pentru metoda Zinger.

și pentru culminații inferioare

$$u = \alpha - T \pm 12^h. \quad (7.76)$$

Dar precizia metodei este afectată mult de erorile de construcție și de așezare în meridian a instrumentului de observație (instrument universal, lunetă de treceri, instrument meridian). Erorile acestuia sînt: eroarea de colimație c provenită din neperpendicularitatea axelor de rotație și cea optică (se numește colimație c cantitatea cu care unghiul celor două axe depășește 90°); eroarea de înclinare i (este unghiul format de axa de rotație cu planul orizontal); eroarea de azimut a (este unghiul de deviere a axei de rotație de la direcția est—vest).

Contribuția acestor erori intră în formula lui Mayer

$$u = \alpha - T - a \frac{\sin(\varphi - \delta)}{\cos \delta} + i \frac{\cos(\varphi - \delta)}{\cos \delta} + \frac{c - K}{\cos \delta} \quad (7.77)$$

sau notînd $m = K \sin \varphi + i \cos \varphi$ și $n = K \cos \varphi + i \sin \varphi$ se obține formula lui Bessel

$$u = \alpha - T - m - n \operatorname{tg} \delta + \frac{c - K}{\cos \delta} \quad (7.78)$$

sau în forma dată de Hansen

$$u = \alpha - T - i \sec \varphi - n(\operatorname{tg} \delta - \operatorname{tg} \varphi) + (c - K) \sec \delta. \quad (7.79)$$

Erorile menționate se pot determina: i cu ajutorul nivelei, c se elimină prin rotirea întregului instrument cu 180° , iar n se determină din observații, considerînd două din stelele observate

$$n = \frac{(\alpha_1 - T_1) - (\alpha_2 - T_2) + (c - K)(\sec \delta_1 - \sec \delta_2)}{\operatorname{tg} \delta_1 - \operatorname{tg} \delta_2} \quad (7.80)$$

sau grafic, cu diferența cît mai mare a declinațiilor, de preferință de semne contrare. Se aleg pentru observații 10—15 stele, în așa fel încît suma azimutelor în momentul trecerii $\Sigma a_i = 0$, deci ele să fie repartizate simetric față de zenit și îmbrățișînd un arc de meridian.

7.7. DETERMINĂRI SIMULTANE DE LONGITUDINE, LATITUDINE ȘI AZIMUT

Scopul acestor determinări este de a obține maximum de informații dintr-o singură serie de observații, economisind timpul. Prin alegerea potrivită a stelelor și metodelor se poate ajunge în general la precizia

de ordinul doi și în cazuri speciale la precizia de ordinul întâi, comparabilă cu precizia metodelor independente.

Longitudinea, latitudinea și azimutul din direcții orizontale. Această metodă, bazată pe mișcarea stelei în azimut nu este influențată de refracție, iar instrumentele universale avînd cercurile orizontale mai precise (decît cele verticale), rezultatele obținute sînt mai exacte. Ecuația fundamentală a metodei se obține din

$$\operatorname{tg} A = \frac{\sin H}{\sin \varphi \cos H - \cos \varphi \operatorname{tg} \delta}$$

unde diferențiind se obține

$$dA = \sin A \cotg Z d\varphi + \cos \varphi (\operatorname{tg} \varphi - \cos A \cotg Z) dH.$$

Deoarece $dH = d\theta - d\alpha = d\theta = dL$, întrucît $d\alpha = 0$

$$dA = \sin A \cotg Z d\varphi + \cos \varphi (\operatorname{tg} \varphi - \cos A \cotg Z) dL \quad (7.81)$$

unde $dA = A - A_0$, $d\varphi = \varphi - \varphi_0$ și $dL = L - L_0$.

φ_0 și L_0 — sînt valorile aproximative ale latitudinii și longitudinii geografice, iar A_0 și Z_0 — coordonatele orizontale deduse cu ajutorul lui φ_0 și L_0 . Azimutul observat A este

$$A = R + \Delta A \pm i \cotg Z \quad (7.82)$$

R — fiind citirea la cercul orizontal și ΔA — eroarea de index a acestuia. Dar

$$\Delta A = \Delta A_0 + d\Delta A$$

ΔA_0 — fiind eroarea aproximativă de index, deci

$$\Delta A_0 + d\Delta A + R \pm i \cotg Z =$$

$$= \sin A_0 \cotg Z_0 d\varphi + \cos \varphi_0 (\operatorname{tg} \varphi_0 - \cos A_0 \cotg Z_0) dL$$

sau

$$\begin{aligned} -d\Delta A + \sin A_0 \cotg Z_0 d\varphi + \cos \varphi_0 (\operatorname{tg} \varphi_0 - \cos A_0 \cotg Z_0) dL = \\ = R + \Delta A_0 \pm i \cotg Z_0 - A_0. \end{aligned}$$

Notînd

$$F = \sin A_0 \cotg Z_0$$

$$L = \operatorname{tg} \varphi_0 - \cos A_0 \cotg Z_0$$

$$\Delta a = R + \Delta A_0 \pm i \cotg Z_0 - A_0$$

ecuația fundamentală devine

$$-d\Delta A + F\Delta\varphi + L \cos \varphi_0 \Delta L = \Delta a. \quad (7.83)$$

Mărimile F , L , Δa , $\cos \varphi_0$ se calculează, deci ecuația are trei necunoscute $d\Delta A$, $\Delta\varphi$, ΔL . Dacă se observă trei direcții orizontale distincte, cele trei ecuații fundamentale (câte una pentru fiecare direcție) au o soluție determinată. Dacă se observă mai multe stele, se formează un sistem de ecuații fundamentale, care se rezolvă prin metoda celor mai mici pătrate. Pentru alegerea stelelor de observare, se va ține seama de următoarele cerințe: pentru latitudine stelele să fie apropiate de elongație; pentru longitudine stelele să fie în apropierea meridianului; pentru azimut stelele să fie apropiate de pol.

Dacă se observă trei stele, se va lua câte una pentru fiecare condiție. Stelele vor fi observate în poziții simetrice față de primul vertical și față de meridian.

Observația se face în modul următor: se vizează reperul și se citește cercul orizontal; se vizează steaua aleasă și se calează instrumentul când steaua se află cu două minute înainte de firul vertical; se citește cronometrul când steaua intersectează firul vertical în vecinătatea firului orizontal; se citește cercul orizontal; se repetă ultimele trei operații; se „răstoarnă” instrumentul și se repetă ultimele patru operații; se citește nivela; se repetă prima operație; se compară cronometrul cu semnalele radio. Astfel din media (directă — inversă) a celor două citiri se obțin două observații. Precizia crește odată cu numărul stelelor observate și cu numărul observațiilor la aceeași stea.

Calculul are următoarele etape: se consideră valori aproximative φ_0 , L_0 , ΔA_0 ; se calculează momentul de observație pentru fiecare stea; se corectează citirile cercului orizontal de efectul înclinării și se determină citirea medie corespunzătoare timpului citit; se calculează A_0 și Z_0 cu valorile φ_0 și L_0 ; se calculează coeficienții F , L și Δa ; se rezolvă sistemul de ecuații fundamentale, de unde se obțin $\Delta\varphi$, ΔL și $d\Delta A$; valorile finale vor fi

$$\varphi = \varphi_0 + \Delta\varphi$$

$$L = L_0 + \Delta L$$

$$\Delta A = \Delta A_0 + d\Delta A.$$

De notat că coordonatele stelelor observate se corectează de aberația diurnă.

Metodele alternative utilizează configurații speciale de stele pentru a reduce timpul de observație și calcul.

Determinarea cu două stele la înălțimea egală cu declinația. Se observă două stele de o parte și alta a meridianului, de aproximativ aceeași declinație, în momentul cînd înălțimea este egală cu declinația. Se notează momentul observației și se citește cercul orizontal. Dificultatea constă în alegerea stelelor.

Determinarea cu două stele în afara meridianului. Se observă două stele al căror azimut diferă cu 90° . Se citesc cercul orizontal și cel vertical, ca și cronometrul.

Determinarea prin treceri meridiane. Se pune firul fără colimație pe cît posibil în meridian. Se observă trecerea a două stele a căror declinație diferă cu 90° , la scurt interval una după alta. Precizia crește odată cu numărul cuplelor observate. Are avantajul că stelele sînt ușor identificabile.

8 CERCETAREA PĂMÎNTULUI DIN SPAȚIUL COSMIC

Pe parcursul existenței civilizației umane, Pământul (Terra) a fost îndelung și profund cercetat, la început pe suprafețe restrânse, apoi la scară globală cu mijloace terestre și în sfârșit din aer și spațiul cosmic. Cercetarea Pământului din spațiul aerian (a se vedea capitolul 4) a permis obținerea de informații deosebit de utile cu privire la rezolvarea unor probleme geodezice pe suprafețe limitate, precum și la urmărirea resurselor naturale și a modificărilor produse pe suprafața terestră sau chiar superficial sub aceasta. Ridicându-se din ce în ce mai mult deasupra scoarței terestre, omul a văzut și a înregistrat cu sensori mai perfecționați decât ochiul fenomene și modificări ale acestora de utilitate certă pentru cercetările din diferite domenii de activitate.

Lansarea sateliților artificiali ai Pământului a făcut posibilă punerea la punct a *geodeziei cu sateliți* (cosmică) și a apariției *teledetecției spațiale*, a cercetării suprafeței terestre din sateliți artificiali și nave spațiale. În ultimele decenii au fost lansați pe orbite circumterestre numeroși sateliți geodezici, sau cu altă destinație dar utilizați și în scopuri geodezice, precum și sateliți și nave spațiale cu oameni la bord care au studiat și înregistrat suprafața terestră în folosul agriculturii și silviculturii, a geologiei, a cartografiei, a hidrologiei și oceanografiei, pentru protecția mediului ambiant etc.

8.1. STUDIUL FORMEI ȘI DIMENSIUNILOR PĂMÎNTULUI DIN SATELIȚI

În afară de faptul că metodele clasice ale geodeziei terestre nu puteau rezolva toate necesitățile acestei științe, sau le rezolvau dar cu insuficientă precizie, geodezia cu sateliți a făcut posibilă: determinarea cu foarte mare precizie a formei și dimensiunilor Pământului, legarea triangulațiilor la scară mondială, determinarea fluctuațiilor în perioada de rotație a Pământului și mișcarea polilor, deplasarea plăcilor continentale (migrația continentelor) ș.a. prin legarea măsurătorilor și determinărilor de centrul de masă al planetei noastre.

După cum arăta cu ceva timp în urmă președintele Academiei de științe a Franței, cunoscutul geodez francez Tardi „geodezia a rezolvat mai multe probleme în zece ani de activitate a sateliților artificiali, decît de la originea îndepărtată a acestei științe și pînă acum”.

Astăzi se cunosc numeroase date cu privire la planeta noastră, cu privire la forma și dimensiunile sale reale și aceasta datorită în special folosirii sateliților artificiali ai Pămîntului.

Geodezia cu sateliți sau cosmică se ocupă în primul rînd de observarea poziției sateliților pe orbită și determinarea poziției relative a stațiilor de observare în vederea rezolvării problemelor geodezice la scară continentală sau planetară, *triangulația cosmică* (*geodezia geometrică spațială*) și în al doilea rînd de legătura existentă între elementele orbitale ale sateliților și elementele cîmpului gravitațional al Pămîntului în vederea stabilirii formei sale reale, *geodezia dinamică spațială*.

Orbita satelitului artificial. Drumul descris de un satelit în jurul Pămîntului, ca urmare a mișcării întreținute de atracția sa, se numește *orbită*, aceasta fiind o conică, o curbă plană (un cerc sau o elipsă). Pentru a se plasa un satelit artificial pe o orbită circulară este necesară imprimarea unei viteze tangențiale dată de relația

$$V_c = \sqrt{g_0 R} \quad (8.1)$$

în care g_0 — este accelerația gravitațională în locul lansării și R — raza Pămîntului în locul lansării.

Viteza de lansare la nivelul solului pentru Pămînt (prima viteză cosmică) este de 7,912 km/s și ea scade pe măsură ce crește înălțimea. Aceasta este condiționată de cîmpul gravitațional, deci pentru alte corpuri vor exista alte viteze de lansare (Luna — 1,68 km/s, Mercur — 3,02 km/s, Venus — 7,31 km/s, Marte — 3,56 km/s).

Perioada de revoluție a unui satelit artificial al Pămîntului se obține cu relația

$$T = 2\pi \frac{R}{V_0} \quad (8.2)$$

în care V_0 — este viteza inițială de lansare pe orbită, iar între perioada de revoluție T și semiaxa mare a a orbitei există relația

$$\frac{4\pi^2 a^3}{T^2} = GM \quad (8.3)$$

în care G — este constanta gravitației universale și M — masa Pămîntului.

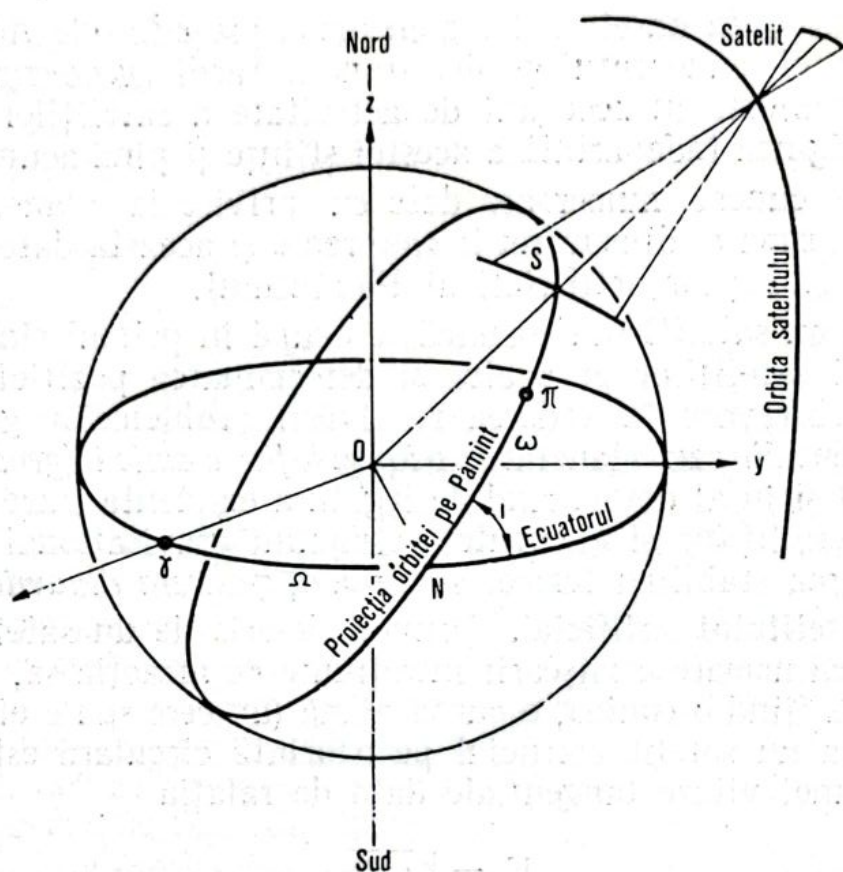


Fig. 8.1. Elementele orbitei unui satelit artificial al Pământului.

Viteza orbitală depinde de forma orbitei și este funcție de distanța la stelit, iar, pentru o orbită circulară va fi

$$V = 2\pi \frac{a}{T} \quad (8.4)$$

Elementele (parametrii) orbitei unui satelit artificial sînt (figura 8.1) în număr de șase: semiaxa mare (a), excentricitatea (e) elipsei, înclinarea orbitei față de ecuatorul terestru (i), ascensia dreaptă sau longitudinea nodului ascendent (Ω) care se măsoară față de punctul vernal γ , argumentul latitudinii perigeului sau distanța de la nod la perigeu (ω) și momentul trecerii la perigeu (T_π). De cele mai multe ori la lansarea unui satelit artificial se dau informații cu privire la patru caracteristici inițiale ale orbitei: înălțimea la apogeu și perigeu, înclinarea orbitei și perioada de revoluție.

Orbitele circumterestre ale sateliților artificiali pot fi: circulare sau eliptice, dacă ne referim la formă, heliosincrone (de exemplu sateliții de teledetecție Landsat), geosincrone (staționar deasupra ecuatorului într-un anumit punct și deplasîndu-se cu viteza de rotație a Pământului),



8.1. Pământul fotografiat din apropierea Lunii în cadrul unei misiuni Apollo.



8.2. Imagine fotografică spectrozonală (banda 0,6—0,7 μm) obținută din laboratorul spațial Saliut 4 deasupra României.



8.3. Înregistrare la banda spectrală $0,7-0,8 \mu\text{m}$ la 22 august 1978 cu un sensor TV dintr-un satelit meteorologic de tipul Meteor 2.



8.4. Înregistrări de teledetecție Landsat MSS cuprinzând o suprafață de teren din țară în patru benzi spectrale (0,5—0,6 μm stînga sus, 0,6—0,7 μm stînga jos, 0,7—0,8 μm dreapta sus, 0,8—1,1 μm dreapta jos).

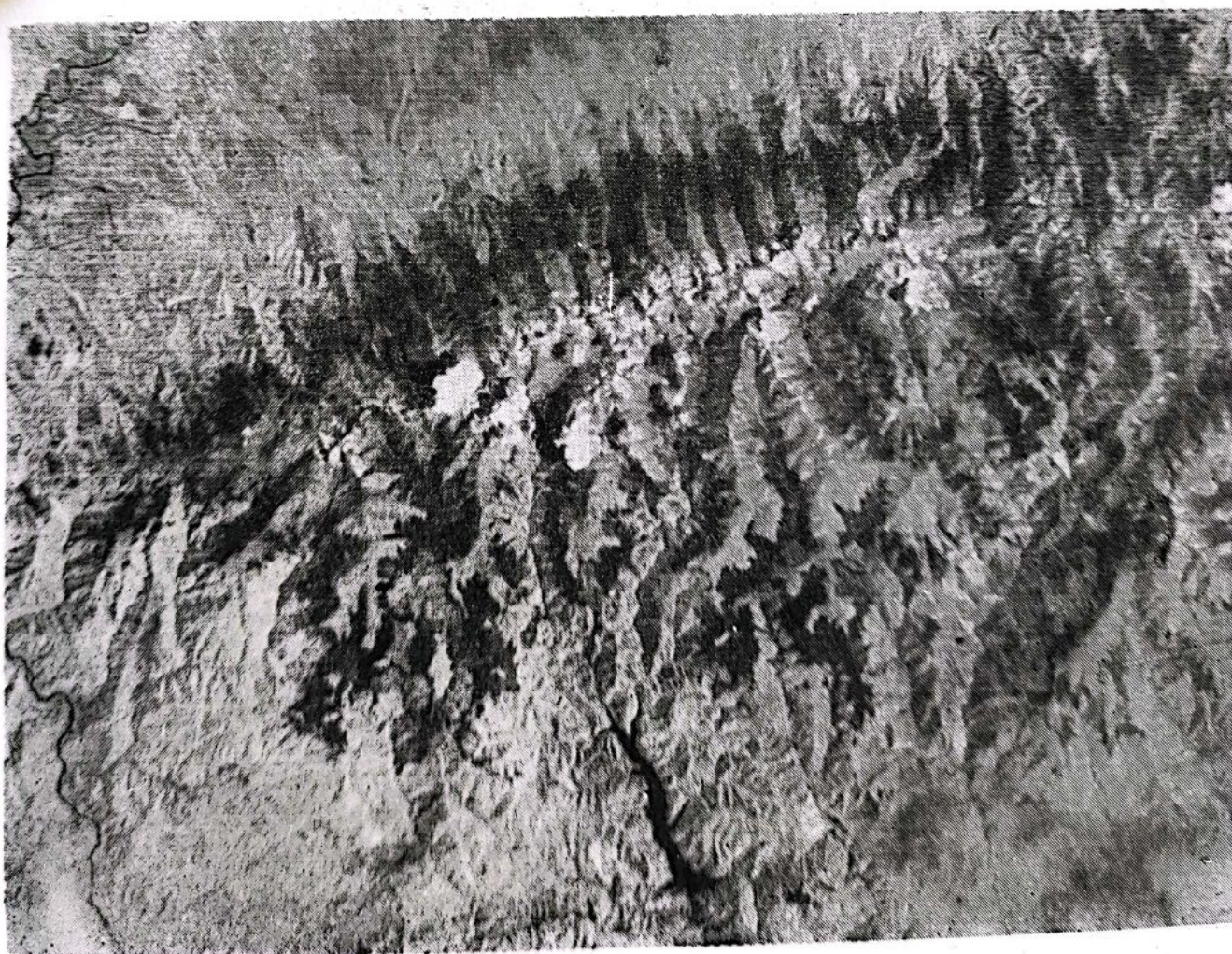


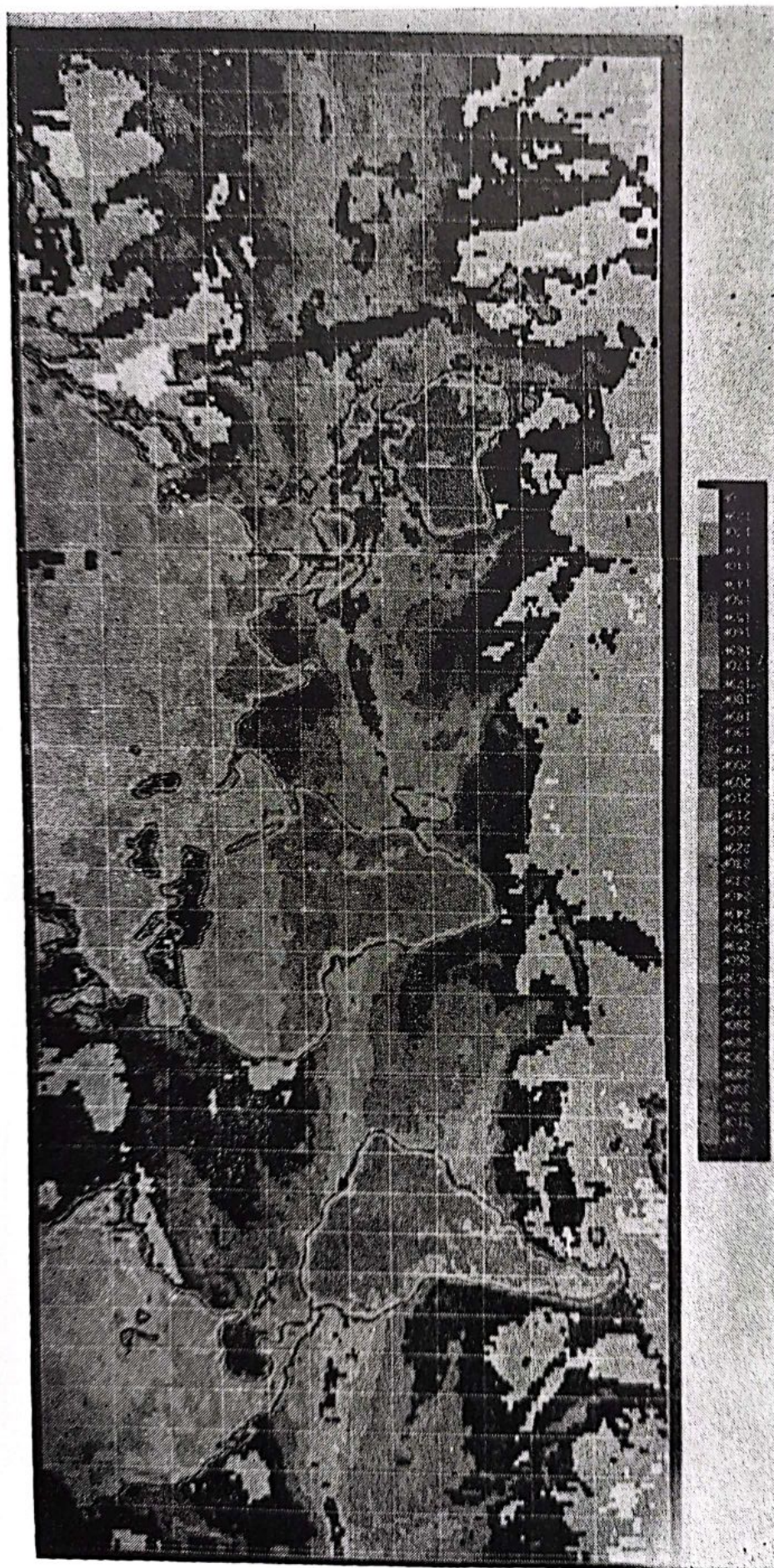




8.5. Imaginea Pământului de la aproximativ 36 000 km, în banda spectrală 0,55—0,70 μm , din satelitul meteorologic geostaționar SMS 1

8.6. Munții Făgăraș, riul Olt și lacul de acumulare Vidraru (înregistrare Landsat MSS din 16 iunie 1976).





8.7. Clasificarea zonelor de pe glob cu aceeași temperatură în baza înregistrărilor cu radiometrul de baleiere cu microunde ($\lambda = 1,55$ cm; satelitul Nimbus 5; 12—16 ianuarie 1973).

de exemplu sateliții de telecomunicații sau cei meteorologici de tipul SMS (Synchronous Meteorological Satellite) sau Meteosat și pe orbite oarecare, avînd drept scop înregistrarea unor anumite zone sau recepționarea directă din anumite zone.

Dacă se fac referiri la înclinarea orbitei satelitul se numește: direct cînd $0^\circ < i < 90^\circ$ și indirect cînd $90^\circ < i < 180^\circ$, unghiul i măsurîndu-se de la ecuator către orbită. Pentru o orbită ecuatorială $i \approx 0^\circ$, iar pentru o orbită polară $i \approx 90^\circ$.

Modificarea orbitei sateliților se obține dirijat de la sol, sau datorită frînării atmosferice, precum și datorită altor cauze. Durata de existență a unui satelit artificial pe orbită este, desigur, în primul rînd funcție de caracteristicile orbitei. Un satelit artificial este plasat la început pe o orbită de așteptare (de parcare), apoi este trecut pe una de transfer și definitiv pe orbita finală. Dar aceasta din urmă este o orbită inițială care se modifică ulterior, după cum s-a arătat.

Sateliți geodezici activi și pasivi. La apariția geodeziei cu sateliți se efectuau observații simultane asupra unor sateliți artificiali ai Pămîntului plasați pe orbite, pentru alte scopuri decît cele geodezice, fotografiîndu-se în perioadele în care erau luminați de Soare. Aceștia au fost numiți *sateliți geodezici pasivi*. În anul 1962 a fost lansat satelitul ANNA 1 B (Army, Navy, NASA, Air Force), primul *satelit geodezic activ*, care emitea scipiri luminoase și permitea menținerea obturatorului camerei fotografice în permanență deschis, imaginile acestora fiind înregistrate pe materialul fotosensibil împreună cu cele ale stelelor din zonă. Imaginile stelelor se foloseau ca puncte de referință pentru stabilirea coordonatelor satelitului. În tabelul 8.1 se prezintă cronologic cîteva sateliți geodezici activi și pasivi, cu cîteva caracteristici ale orbitei.

Cu excepția sateliților Diapason D 1 A, Diadème 1 și 2, Peole și STARLETTE (Satellite de Taille Adaptée avec Réflecteurs Laser pour les ETudes de la Terre) care sînt francezi și Kiku japonez, restul sateliților din tabel sînt americani; sateliți geodezici pasivi sînt, în tabel, doar Echo 1 și 2, PAGEOS (PASSive Geodetic Earth Orbiting Satellite), Samos și Kiku, dar și mulți dintre cei activi au fost observați și ca sateliți pasivi. Sateliții Beacon B și C, GEOS 1, 2 și 3 sînt din seria Explorer, respectiv Explorer 22, 27, 29, 36 și 53.

Pentru determinarea direcțiilor spațiale prin observații fotografice simultane s-au folosit dispozitivele care produc scipiri luminoase de o anumită intensitate, pentru determinarea distanței stație — satelit s-a folosit inițial radarul, care n-a asigurat precizia necesară și ulterior laserul, sateliții posedînd retro-reflectoare și asigurîndu-se o precizie de determinare de ordinul decimetrilor și, în sfîrșit, pentru aflarea vitezei radiale (se mai spune diferența de distanță topocentrică corespun-

Sateliți geodezici activi și pasivi

Satelitul	Data lansării	Caracteristici inițiale ale orbitei				
		Înălțimea la apogeu (km)	Înălțimea la perigeu (km)	Excentricitatea	Înclinarea (°)	Perioada (minute)
Vanguard 1	17.03.58	3 968	650	0,191	34,25	134,18
Echo 1	12.08.60	1 684	1 524	0,010	47,22	118,22
ANNA 1 B	31.10.62	1 182	1 077	0,007	50,14	107,84
Secor 1	11.01.64	933	904	0,002	69,89	103,46
Echo 2	25.01.64	1 178	1 148	0,019	81,55	108,66
Starflash	13.06.64	364	350	0,001	114,98	91,67
Beacon B	10.10.64	1 077	885	0,012	79,69	104,70
Beacon C	29.04.65	1 317	941	0,025	41,19	107,78
GEOS 1	06.11.65	2 275	1 114	0,072	59,40	120,30
Diapason D 1 A	17.02.66	2 738	499	0,140	34,03	118,51
PAGEOS 1	24.06.66	4 271	4 207	0,003	87,14	181,43
Diadème 1	08.02.67	1 411	557	0,058	40,02	104,66
Diadème 2	15.02.67	1 881	591	0,085	39,45	110,01
GEOS 2	11.01.68	1 577	1 084	0,032	105,80	112,28
TOPO 1	08.04.70	1 111	1 064	0,003	99,76	107,09
Peole	12.12.70	749	635	0,008	15,00	98,43
STARLETTE	06.02.75	1 141	807	0,021	49,82	104,51
GEOS 3	09.04.75	853	839	0,001	114,96	101,82
Samos (Big Bird)	08.06.75	269	157	0,008	96,37	88,80
Kiku	09.09.75	1 093	963	0,009	46,9	106
LAGEOS	04.05.76	5 945	5 850	0,004	109,9	225,6

zătoare la două poziții succesive ale aceluiași satelit) s-au folosit emițătoare Doppler. De câțiva ani pe sateliții geodezici apare și altimetrul radar. Dispozitive care produc scipiri au fost amplasate pe sateliții ANNA 1 B, Starflash, GEOS 1 și 2 (Geodetic Earth Orbiting Satellite), retro-reflectoare laser pe sateliții Beacon B și C, GEOS 1, 2 și 3, Diadème 1 și 2, Peole, STARLETTE și LAGEOS (Laser GEodynamic

Satellite), emițătoare Doppler pe sateliții Beacon B și C, GEOS 1,2 și 3, altimetru radar doar pe GEOS 3.

Se menționează în continuare câteva rezultate cu privire la forma și dimensiunile Pământului obținute cu acești sateliți geodezici. Cu ajutorul satelitului Vanguard 1 a fost determinată în anul 1958, pentru prima dată din măsurători spațiale, forma planetei noastre Pământ; cu sateliții pasivi Echo 1 și 2, baloane din material plastic aluminizat care se umflau după plasarea pe orbită (diametrul — 30 m) și se puteau observa noaptea ca stelele de mărimea 0 sau —1, s-au executat triangulații cosmice continentale sau intercontinentale (orbitele acestora erau perturbate constant și foarte puternic de forțe negravitaționale ca rezistența atmosferei și presiunea de radiație); cu Pageos 1, balon care se vedea ca o stea de mărimea 3, plasat pe o orbită mult mai înaltă decât sateliții Echo, s-au putut determina stații terestre aflate între ele la distanțe mult mai mari — de ordinul a aproximativ 6 000 km — putându-se realiza o triangulație mondială. Prin utilizarea sateliților GEOS s-au putut realiza: hărți foarte precise cu privire la structura câmpului gravitațional neregulat al Pământului, conexarea rețelelor geodezice pe mari zone, cercetări cu privire la posibilitatea de a întocmi hărți topografice ale suprafeței oceanului, folosind altimetria radar din satelit, cu precizia absolută de 5 m și precizia relativă de 1—2 m (GEOS 3). Satelitul geodezic francez STARLETTE a fost destinat pentru mai multe experiențe geodezice: verificarea reliefului planetei, cercetarea densității sale și a câmpului gravitațional, studierea mișcării polilor și a rotației Pământului, urmărirea mișcărilor crustale, determinarea poziției stațiilor terestre cu ajutorul laserului pentru rețele mondiale. Observațiile laser, foarte precise, au permis stabilirea, de asemenea foarte precis, a elementelor orbitei sale; spre exemplificare se dau câteva elemente ale orbitei satelitului STARLETTE pentru 15 iulie 1976 (la aproape un an și jumătate de la lansare): semiaxa mare — 7 337 330,7 m, înălțimea la apogeu — 1 112 942,4 m, înălțimea la perigeu — 815 361,7 m, excentricitatea — 0,020 278, înclinarea — 49,83083°, perioada — 104,248 minute. Satelitul geodezic PAGEOS a avut ca obiectiv principal urmărirea mișcărilor scoarței terestre, cu precizie centimetrică, cu ajutorul laserului.

8.2. TRIANGULAȚIA COSMICĂ (GEODEZIA SPAȚIALĂ GEOMETRICĂ)

Deplasarea sateliților. Un satelit artificial poate înregistra întreaga suprafață a Pământului numai dacă are orbita polară ($i=90^\circ$), pentru înclinări ale orbitei mai mici de 90° se acoperă o zonă în lungul ecuato-

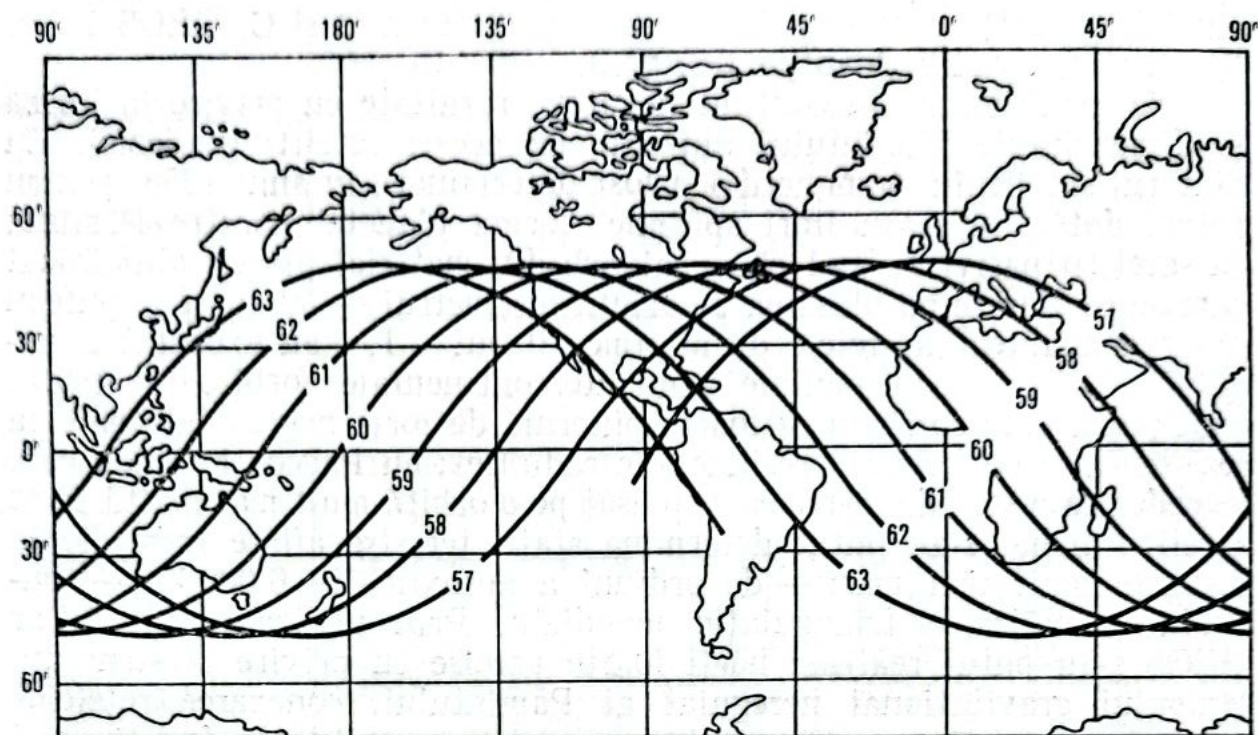


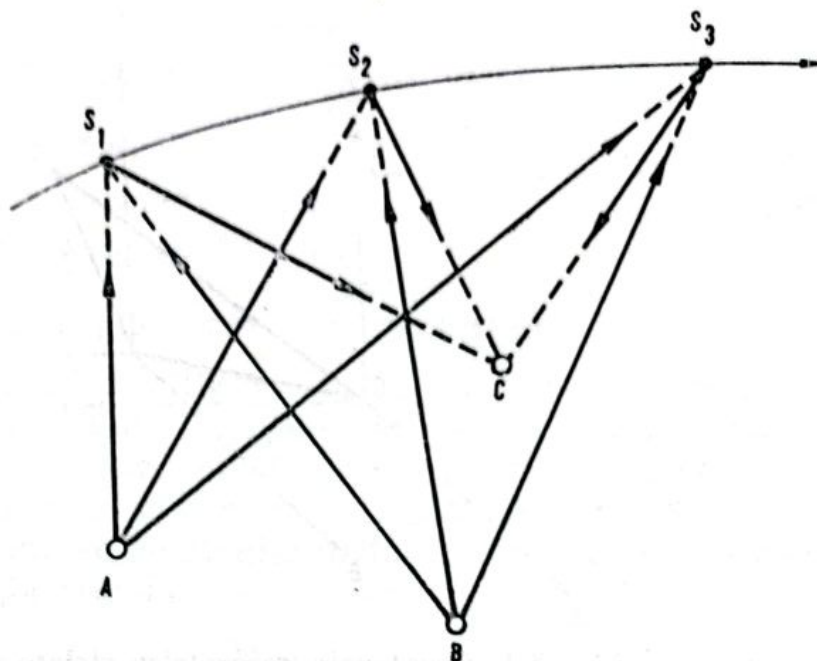
Fig. 8.2. Deplasarea aparentă a sateliților pe planiglob (laboratorul spațial Skylab).

rului, dispusă simetric față de acesta dacă orbita este circulară, iar pentru $i=0^\circ$ și o orbită circulară aflată la 36 000 km satelitul devine geostationar deasupra unui punct al ecuatorului și se deplasează sincron cu Pământul, avînd aceeași viteză unghiulară (a se vedea punctul 8.5).

Pe un planiglob mișcarea aparentă (proiecția traiectoriei) a unui satelit apare sub forma unor sinusoide limitate de paralele. În figura 8.2 este prezentată mișcarea aparentă pe planiglob a laboratorului spațial Skylab (înălțimea ≈ 430 km, $i \approx 50^\circ$ și perioada ≈ 93 minute); sînt redată rotațiile inițiale nr. 57—63.

Poziția satelitului și poziția stației. Acceptarea ideii lui Văisălă, fondatorul geodeziei spațiale (de a observa simultan un obiect care se deplasează în spațiu din mai multe stații terestre fără vizibilitate între ele pentru a le lega geodezic), la sateliții artificiali ai Pământului, a făcut posibilă rezolvarea problemelor geodezice (triangulație, trilateratie ș.a) la nivel continental sau chiar planetar. Problema care se pune este de a determina pozițiile instantanee ale unui satelit artificial terestru și ale unor puncte geodezice aflate pe suprafața Pământului și a le raporta la sistemul de coordonate geocentric (figura 8.3). Dacă se utilizează observații simultane se pot determina vectorii spațiali AS_1 , BS_1 , CS_1 , AS_2 ... CS_3 și coordonatele stațiilor A , B , C , obținîndu-se rețele de triangulație pe mari suprafețe de teren sau chiar planetare, iar dacă

Fig. 8.3. Pozițiile satelitului, ale stațiilor terestre și observarea simultană.



observațiile sînt nesimultane apare necesitatea determinării perturbațiilor în deplasarea sateliților.

Ecuția fundamentală a geodeziei spațiale. Între pozițiile stațiilor de pe Pămînt și ale satelitului aflat pe orbită se formează planuri sau poliedre. Poziția unui satelit se poate stabili în funcție de sisteme de coordonate legate de sfera cerească și de sisteme legate de Pămînt: *coordo-nate geocentrice (terestre și stelare — OXYZ)* — cu originea în centrul de masă și *coordo-nate topocentrice (ecuatoriale Mξηζ și orizontale)* — cu originea în locul de stație și axe paralele cu ale celui geocentric. Poziția unei stații terestre se poate defini prin: *coordo-nate sferice* (distanța de la centrul Pămîntului la stație — R , latitudinea geocentrică — φ' și longitudinea — λ) sau *coordo-nate geodezice* (latitudinea geodezică — B , longitudinea geodezică — L și altitudinea deasupra elipsoidului — H). Stabilirea poziției satelitului reprezintă o etapă intermediară pentru determinarea poziției stațiilor terestre.

Ecuția fundamentală a geodeziei spațiale, stabilită conform figurii 8.4, este

$$\bar{r} = \bar{R} + \bar{\rho} \quad (8.5)$$

în care $\bar{r}$ — este raza vectorie geocentrică a satelitului, $\bar{R}$ — raza vectorie geocentrică a stației și $\bar{\rho}$ — raza vectorie topocentrică a satelitului.

Observarea satelitului artificial. După o pregătire a observațiilor — care constă în calculul efemeridelor din elementele orbitei (pentru o stație terestră de coordonate φ , λ și un moment al observației) și în stabilirea condițiilor de vizibilitate — se poate efectua observarea satelitului prin patru mijloace:

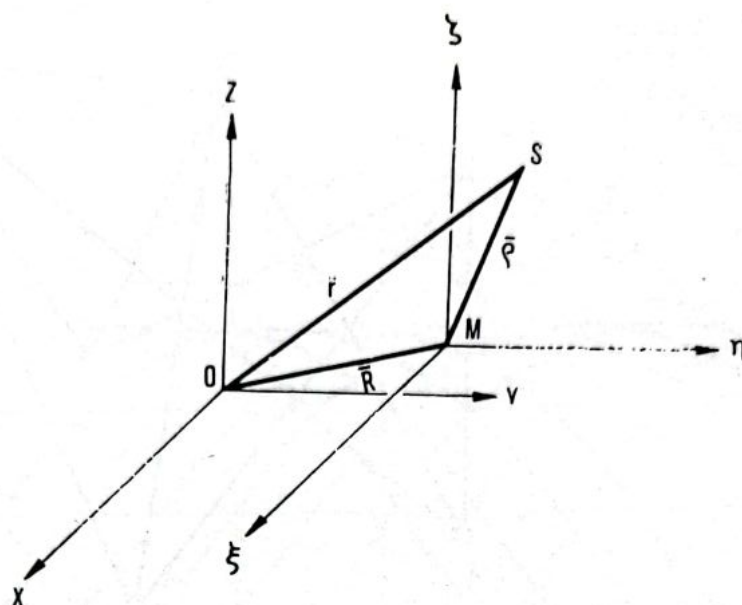


Fig. 8.4. Coordonate geocentrice stelare și coordonate topocentrice ecuatoriale.

— *Observarea vizuală*, cu ochiul liber, binoclul sau luneta, dar aceasta nu se poate folosi în geodezie pentru determinări.

— *Observarea fotografică* (optică) a unui satelit pasiv luminat de Soare sau a unui satelit activ care emite scipiri, fiind necesare reducerea clișeeilor și corectarea observațiilor. Relațiile de bază pentru observații optice rezultă din proiectarea ecuației 8.5 pe cele trei axe de coordonate (a se vedea figura 8.4)

$$\left. \begin{aligned} x &= X + \xi \\ y &= Y + \eta \\ z &= Z + \zeta \end{aligned} \right| \quad (8.6)$$

în care x, y, z — sînt coordonatele geocentrice ale satelitului, X, Y, Z — coordonatele geocentrice ale stației terestre și ξ, η, ζ — coordonatele topocentrice ecuatoriale ale satelitului. Coordonatele geocentrice rectangulare ale stației se pot determina, în funcție de coordonatele sferice sau geodezice, cu relațiile

$$\left. \begin{aligned} X &= R \cos \varphi' \cos \lambda = (N + H) \cos B \cos L \\ Y &= R \cos \varphi' \sin \lambda = (N + H) \cos B \sin L \\ Z &= R \sin \varphi' = [N(1 - e^2) + H] \sin B \end{aligned} \right| \quad (8.7)$$

în care N — este raza de curbură a secțiunii primului vertical și este definit de

$$N = a(1 - e^2 \sin^2 B)^{-\frac{1}{2}} \quad (8.8)$$

iar e — este excentricitatea elipsoidului terestru și a — semi-axa mare. Coordonatele topocentrice ecuatoriale ale satelitului sînt

$$\left. \begin{aligned} \xi &= \rho \cos \delta \cos \alpha \\ \eta &= \rho \cos \delta \sin \alpha \\ \zeta &= \rho \sin \delta \end{aligned} \right\} \quad (8.9)$$

în care δ și α — sînt observații topocentrice ecuatoriale.

— *Observarea laser* a unui satelit care posedă retro-refletoare laser permite stabilirea mărimii distanței stație — satelit, uneori și a direcției sale în spațiu. Cunoscîndu-se momentul producerii impulsului laser și intervalul de timp Δt în care fasciculul de lumină parcurge distanța stație-satelit dus și întors, se poate afla distanța topocentrică la care se află satelitul, cu relația simplă

$$\rho = c \frac{\Delta t}{2} \quad (8.10)$$

în care c — este viteza luminii. Relația de bază pentru măsurători laser este

$$\rho = \sqrt{(x - X)^2 + (y - Y)^2 + (z - Z)^2}. \quad (8.11)$$

— *Observarea Doppler* a sateliților folosește efectul Doppler de stabilire a variației frecvenței unui semnal cînd un emițător și un aparat de înregistrare se deplasează unul față de celălalt și utilizează relația simplă

$$\Delta \rho = \rho_2 - \rho_1. \quad (8.12)$$

Triangulația geodezică (a se vedea punctul 3.4) se poate executa numai dacă există vizibilitate directă între punctele geodezice care formează triunghiuri și pentru distanțe între acestea limitate la posibilitățile de observare a instrumentelor folosite (de ordinul zecilor de kilometri). În mod similar se pun condițiile în cazul trilaterăției. Prin triangulația cosmică se înlătură aceste bariere, satelitul aflat pe orbită fiind intermediarul între puncte terestre aflate la distanțe foarte mari (de ordinul miilor de kilometri). Un satelit artificial poate fi observat simultan, în diferite poziții ale sale pe orbită, din mai multe stații terestre (puncte geodezice). După cum se poate constata din figura 8.3, rezultă tetraedre cu vîrfurile în cele trei stații terestre și diferitele poziții ale satelitului pe orbită, *poziții observate simultan*.

Realizîndu-se determinări de direcții spațiale (prin observații optice, uneori și laser) și de distanțe (prin observații laser sau Doppler), se pot defini coordonatele geocentrice ale satelitului și în funcție de

acestea coordonatele stațiilor și orbita satelitului. Prin combinarea celor trei feluri de observații apar diferite cazuri de intersecții spațiale simple, multiple sau particulare. Pentru controlul orientării rețelelor de triangulație (au rolul azimutelor Laplace din geodezia clasică) se determină, uneori, vectorii spațiali.

Lucrări de triangulație cosmică. Folosind aceste mijloace și metode, s-au efectuat câteva lucrări ample de triangulație cosmică dintre care se menționează câteva (Levallois, 1971):

— *Racordarea geodezică dintre Franța și nordul Africii*, cu ajutorul observațiilor fotografice realizate asupra satelitului Echo 1 din trei stații terestre aflate în Franța (Lacanau, Agde, Oletta) și două în Algeria (Ouargla, Hammaguir), toate legate de rețeaua geodezică primordială. Satelitul a fost înregistrat simultan de mai multe stații în 46 poziții ale sale pe diferite orbite (figura 8.5), obținându-se în cele cinci stații

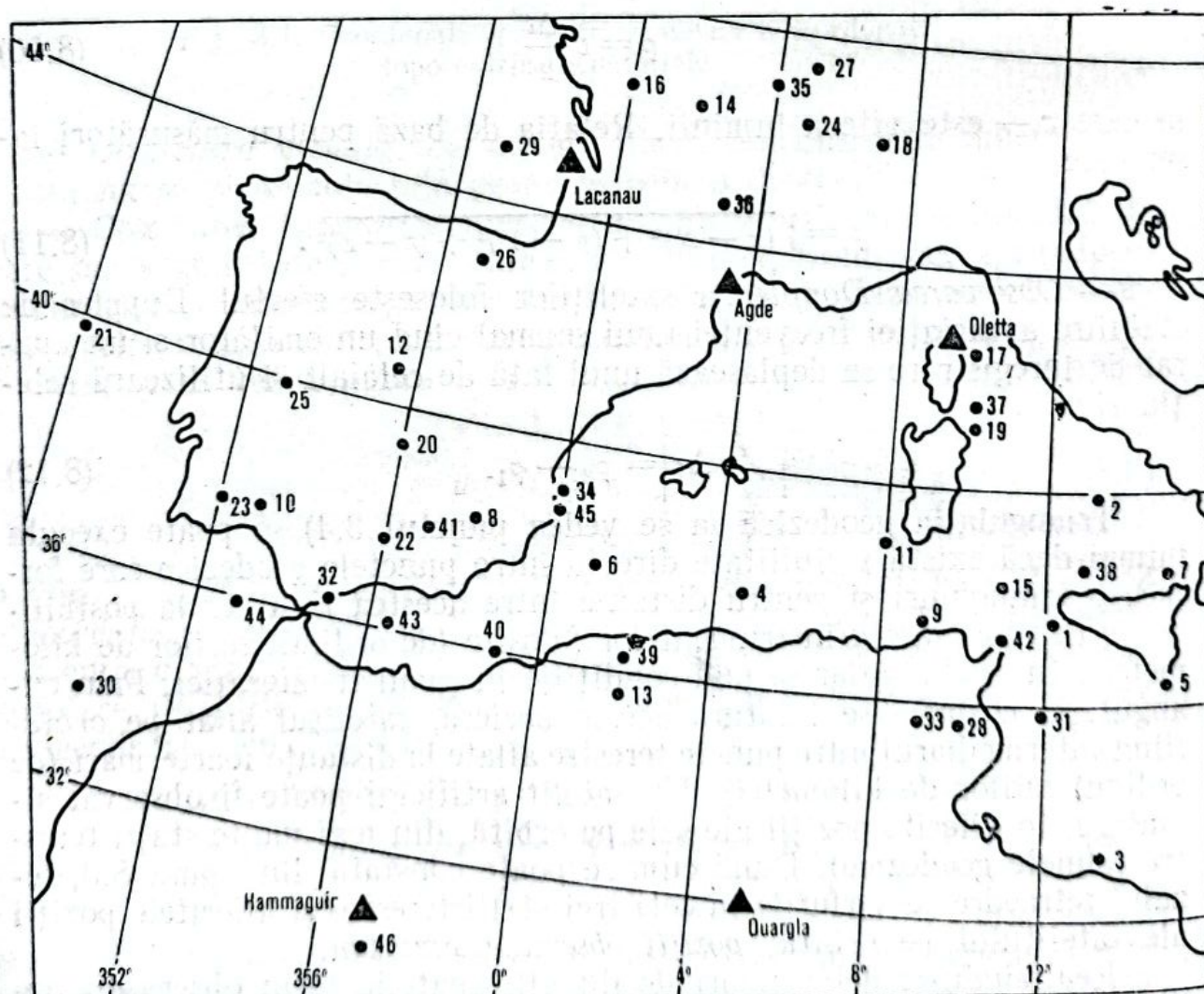


Fig. 8.5. Racordarea geodezică Franța — nordul Africii cu ajutorul satelitului geodezic pasiv Echo 1, efectuată în anul 1963.

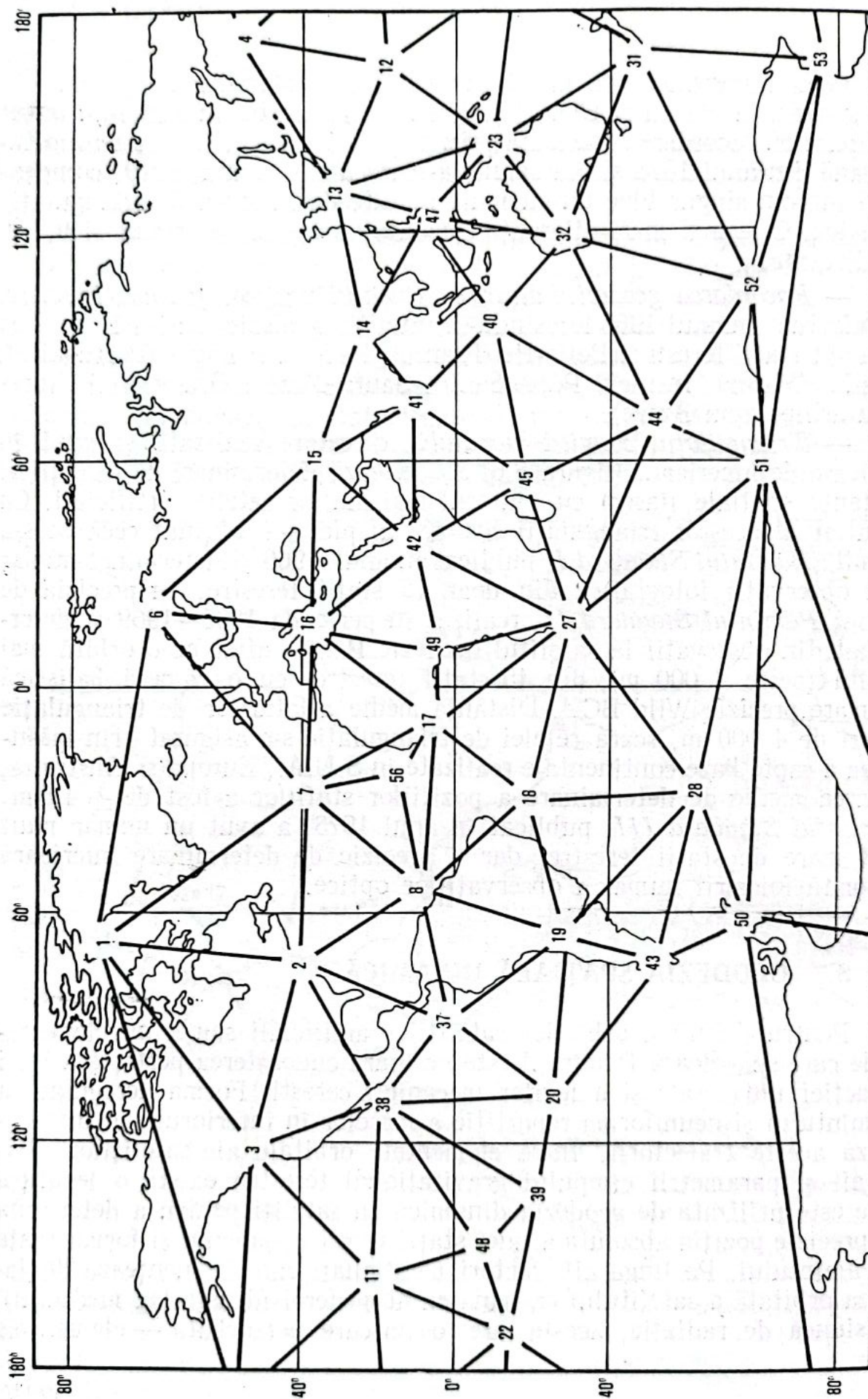
155 plăci fotografice (de la 15 înregistrări la Hammaguir, la câte 40 înregistrări la Oletta și Ouargla). Rezultatele acestei lucrări s-au putut compara cu racordarea realizată prin mijloace clasice, legătura italo-tunisiană din anul 1878 și cea spaniolă-marocană din anul 1879, compensată într-un singur bloc nu cu mult înainte de lucrarea de triangulație cosmică. Cele mai mari diferențe constatate: $4^{\text{cc}},72$ în azimut și 9,7 m în distanță.

— *Racordarea geodezică dintre continentul european și Insulele Azore*, s-a efectuat în anul 1965 folosindu-se sateliții geodezici pasivi Echo 1 și 2 și opt stații terestre: Belle-Ile (Franța), Padrela și Lagos (Portugalia), Agadir (Maroc), insulele Porto-Santo, Santa Maria, Graciosa și Flores (din arhipelagul Azore).

— *Triangulația cosmică mondială*, cercetare realizată și pusă în aplicare de americani (figura 8.6) are la bază determinări de direcții și distanțe spațiale (laser) cu ajutorul mai multor sateliți artificiali. Ca rezultat al acestor triangulații cosmice ample s-a obținut ceea ce s-a numit: *Pământul Standard I*, publicat în anul 1966 și determinat numai din observații fotografice din doar 12 stații terestre, cu precizia de 20 m; *Pământul Standard II*, realizat în perioada 1966—1969 și determinat din observații la satelitul geodezic Pageos aflat pe o orbită mai înaltă (peste 4 000 m), din 45 stații terestre, cu o cameră balistică de mare precizie Wild BC-4. Distanța medie a laturilor de triangulație a fost de 4 000 m, scara rețelei de triangulație s-a asigurat prin măsurarea a șapte baze continentale realizate în S.U.A., Europa și Australia, eroarea medie de determinare a pozițiilor stațiilor a fost de $\pm 4,5$ m; *Pământul Standard III*, publicat în anul 1973, a avut un număr mult mai mare de stații terestre, dar o precizie de determinare inferioară datorită folosirii numai a observațiilor optice.

8.3. GEODEZIA SPAȚIALĂ DINAMICĂ

Pentru definirea orbitelor sateliților artificiali sau a navelor spațiale care survolează Pământul este necesară cunoașterea perfectă a legii atracției universale și a legilor mecanicii cerești. Forma neregulată a Pământului și neuniforma repartiție a maselor în interiorul său influențează aceste traiectorii. Între elementele orbitale ale sateliților artificiali și parametrii câmpului gravitațional terestru există o legătură care este utilizată de geodezia dinamică cu sateliți pentru a determina cu precizie poziția absolută a unei stații terestre, precum și forma reală a Pământului. Pe lângă alți factori menționați care influențează deplasarea orbitală a satelitului ca frinarea atmosferei (densitatea mediului), presiunea de radiație, acesta are o mișcare perturbată — elementele



orbitale devenind funcție de timp — iar datorită formei nesferice a Pământului potențialul gravitațional influențând hotărâtor asupra mișcării sale, ca de altfel și acțiunea gravitațională a Lunii și Soarelui, efectul relativității, încărcarea electrostatică a satelitului ș.a. cu influențe evident inferioare.

Pozițiile topocentrice stabilite au mijloacele geodeziei spațiale geometrice se pot asocia cu determinări gravimetrice, asigurând dependența amintită a parametrilor orbitei față de parametrii câmpului gravitațional. În acest mod se pot stabili: elementele orbitale precise ale satelitului, coordonatele stațiilor terestre raportate la centrul de masă al Pământului și forma generală a câmpului gravitațional terestru.

Perturbațiile gravitaționale. Elementele orbitale reale definesc în fiecare moment t o orbită kepleriană, instantanee, numită *orbită osculatoare*, aceasta depinzând de forțele perturbatoare. Dacă nu se iau în considerare decât forțele perturbatoare gravitaționale, iar atracția luni-solară se neglijează putând fi calculată precis, mișcarea satelitului pe orbită ar fi influențată doar de potențialul gravitațional terestru exprimat prin relația 2.1 și dacă se ține seama de potențialul forței centrifuge datorită rotației Pământului, expresia funcției geopotențiale a gravitației terestre este exprimată de relația 2.7. Perturbația cauzată de forma nesferică și neuniforma distribuție a masei terestre este definită de relația 2.11.

Este evident că determinarea câmpului gravitațional terestru nu se poate face global și expresia sa matematică generală

$$V = \frac{GM}{r} \left[1 - \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a_e}{r} \right)^n C_n P_n(\sin \varphi) + \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a_e}{r} \right)^n \sum_{m=1}^n (C_{nm} \cos m \lambda + S_{nm} \sin m \lambda) P_{nm}(\sin \varphi) \right] \quad (8.13)$$

se aplică prin luarea în considerare a *armonicelor zonale* C_n , care definesc variația potențialului terestru doar în funcție de latitudine, exprimat prin relația

$$V_{\text{zonal}} = \frac{GM}{r} \left[1 - \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a_e}{r} \right)^n C_n P_n(\sin \varphi) \right], \quad (8.14)$$

spre deosebire de cazul *armonicelor teserale* C_{nm} , care au o pondere mai mică, exprimând potențialul și în funcție de longitudine.

Modificările elementelor orbitale ale sateliților artificiali se datoresc variațiilor de trei feluri: seculare (evidențiate de armonicile zonale

pare), periodice (evidențiate de armonicile zonale pare și impare) și neregulate (evidențiate de armonicile tesorale).

Determinarea globală a geoidului. Prin măsurători astronomice și geodezice s-au putut determina dimensiunile elipsoidului terestru (a se vedea punctul 1.2) dar turtirea f nu s-a obținut cu precizie corespunzătoare decât după ce s-au luat în considerare și măsurători gravimetrice. Forma Pământului cea mai apropiată de cea reală, geoidul, definită ca suprafața echipotențială care coincide cu suprafața liniștită a mărilor și oceanelor prelungită pe sub continente, nu poate fi exprimată analitic ci asimilată cu o suprafață analitică simplă (elipsoid) cu masa totală egală cu cea a Pământului (geoidului) și centrul situat în centrul de greutate terestru. Suprafața care aproximează cel mai corect geoidul este *suprafața normală*, avînd un potențial normal, iar distanțele de la această suprafață la geoid definesc *ondulațiile geoidului* (8.7).

Este cunoscut că potențialul unui punct de pe suprafața Pământului se poate determina cu relația

$$W = V + \frac{\theta^2}{2} (x^2 + y^2) \quad (8.15)$$

în care V — este exprimat prin formula 8.13, iar θ — viteza de rotație a Pământului. Determinarea ondulațiilor geoidului față de suprafața normală, (distanța N dintre geoid și elipsoid), dacă masa elipsoidului M' este aceeași cu masa totală a Pământului M , potențialul său V' cu potențialul real al geoidului W și centrul său așezat în centrul de

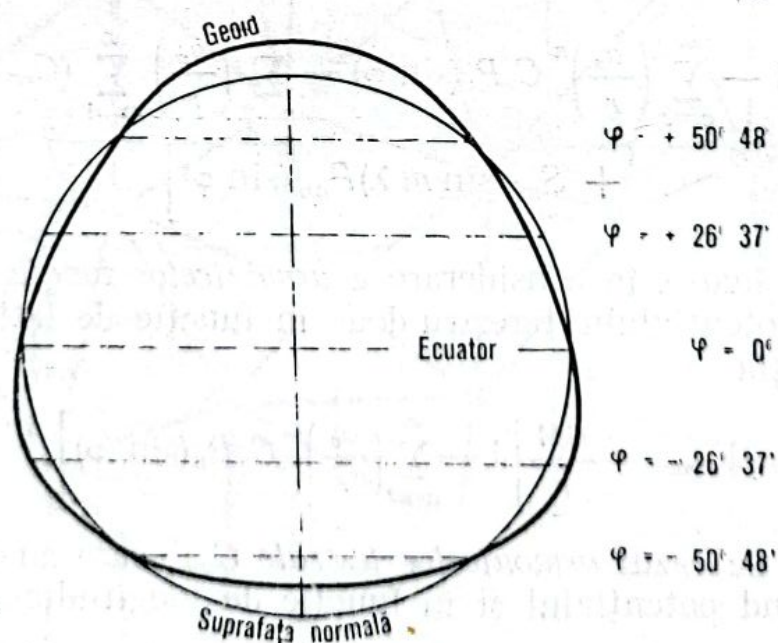


Fig. 8.7. Aspectul general al geoidului în secțiune meridiană.

greutate al Pământului, este posibilă cu ajutorul formulei cunoscute a lui Stokes stabilită încă din anul 1849

$$N = \frac{R}{4\pi\gamma} \iint_{\sigma} \Delta g S(\psi) d\sigma, \quad (8.16)$$

dar dacă $M' \neq M$ și $V' \neq W$, pentru determinarea globală a geoidului se folosește formula lui Stokes generalizată

$$N = \frac{G \Delta M}{R \gamma} - \frac{\Delta W}{\gamma} + \frac{R}{4\pi\gamma} \iint_{\sigma} \Delta g S(\psi) d\sigma \quad (8.17)$$

în care ΔM și ΔW — sînt diferențele dintre masa și potențialul terestru real și cele normale ale elipsoidului folosit, R — raza medie a Pământului, Δg — anomalia gravitației și $S(\psi)$ — funcția Stokes.

Determinarea globală a geoidului comportă cunoașterea constantei N_0

$$N_0 = \frac{G \Delta M}{R \gamma} - \frac{\Delta W}{\gamma}$$

și distribuția anomaliilor gravitației pe întreaga suprafață a Pământului, această a doua condiție practic neputînd fi realizată în totalitate deoarece: nu se cunoaște valoarea gravitației în orice punct terestru, cele cunoscute nu sînt stabilite într-un sistem unic, nu s-a utilizat același elipsoid pentru calculul lui Δg și nu s-a adoptat același tip de anomalie pe întreaga suprafață terestră. Forma globală a geoidului a fost calculată de mai mulți cercetători (Hirvonen în 1934, Tanni în 1948, Jongolovici în 1952, Heiskanen în 1957, Fischer în 1961, Kaula și Uotila în 1962, Bursa în 1969), dar prin folosirea determinărilor astronomice, gravimetrice și geodezice combinate cu cele furnizate de geodezia spațială dinamică s-au obținut rezultate calitativ superioare, în condițiile studierii globale a figurii Pământului. De menționat rezultatele obținute în determinarea globală a geoidului: de Gaposchin în anul 1966, care a folosit observații fotografice din 12 stații terestre, de Anderle în 1966, care a utilizat observații Doppler, în cadrul programului „Pământul Standard II” în anul 1966, erorile undulațiilor geoidului fiind apreciate la $\pm 3 - 4$ m, iar în cadrul programului „Pământul Standard III” în anul 1973 la $\pm 2,5$ m.

În anul 1975, folosindu-se aproximativ 140 000 de măsurări de direcții și distanțe la 10 sateliți artificiali, s-a determinat geoidul GRIM 1; reprezentarea undulațiilor geoidului față de suprafața matematică de referință (elipsoidul definit de Fischer în anul 1960, cu parametrii: $a = 6\,378\,155$ m, $f = 1 : 298,255$, $GM = 398\,601,3$) s-a făcut prin curbe cu echidistanța de 10 m. Un an mai tîrziu, folosindu-se aceleași date, precum și altele noi (în total 200 000 de măsurători la 21 sateliți),

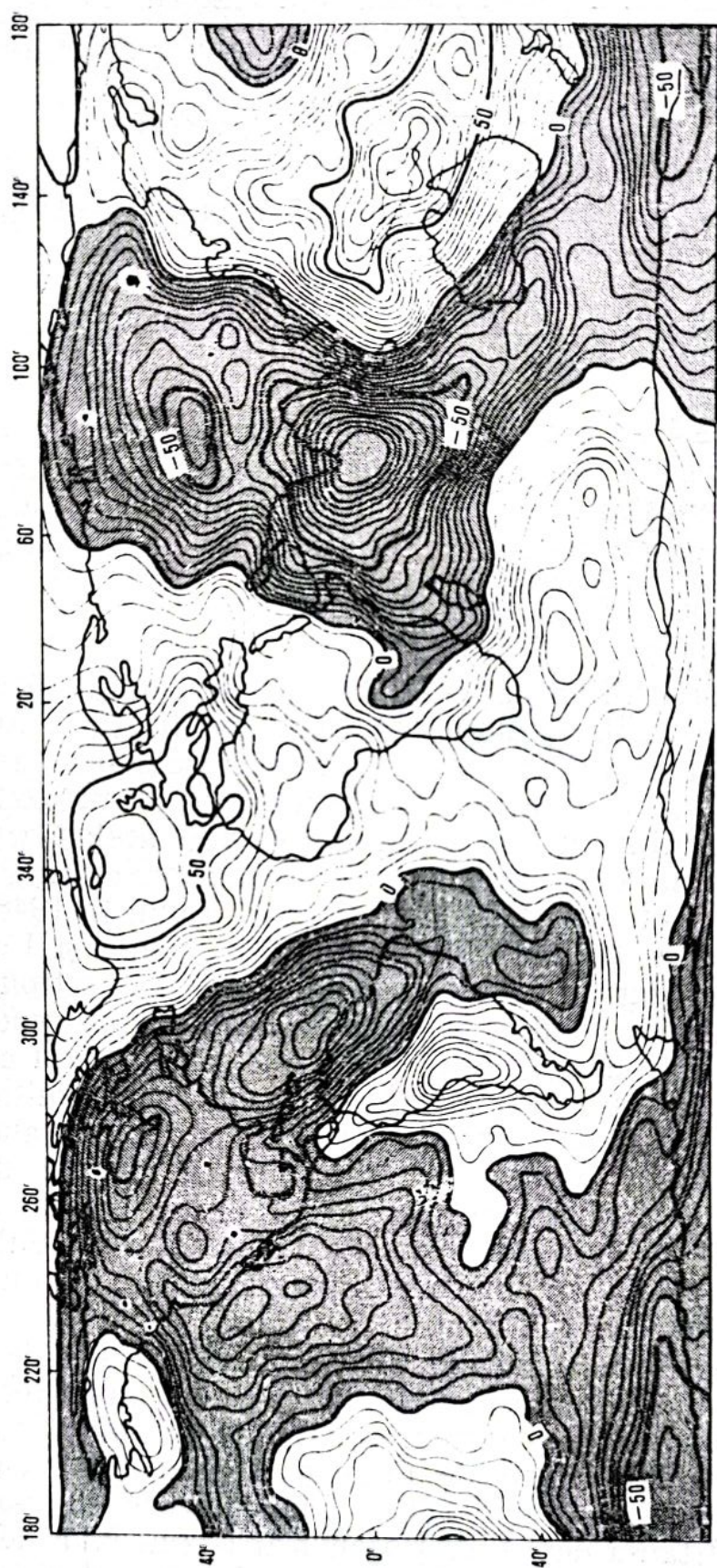


Fig. 8.8. Geoidul GRIM 2 determinat în anul 1976, cu echidistanța curbelor de 5 m.

ținându-se cont și de efectele mareelor terestre asupra stațiilor terestre și reanalizându-se forțele perturbatoare ale orbitelor sateliților, s-a recalculat geoidul obținându-se varianta GRIM 2 cu o reprezentare a undulațiilor mai precisă (figura 8.8), echidistanța curbelor 5 m. În figura 8.9 este redată reprezentarea cu ajutorul calculatorului electronic și a unui automat de desen a undulațiilor aceluiași geoid GRIM 2.

În concluzie, un satelit geodezic activ sau pasiv facilitează determinarea precisă a poziției sale și prin aceasta legarea unor stații terestre aflate la mari distanțe, sau stabilirea perturbațiilor raportate la centrul de masă al Pământului și forma generală a câmpului gravitațional terestru. Geodezia dinamică cu sateliți a permis determinarea cu precizie ridicată a figurii și dimensiunilor Pământului, cele mai recente constatări fiind: geoidul prezintă față de ecuator o nesimetrie, având forma de pară (a se vedea figura 8.7) și prezentând deformări — o ridicare de circa $+15$ m în zona Polului Nord, o depresiune de cca -5 m în zona latitudinilor medii nordice, o creștere de cca $+5$ m în zona latitudinilor medii sudice și o scădere de cca -15 m în zona Polului Sud; turtirea elipsoidului mediu terestru este $f = 1 : 298,255 \pm \pm 0,005$, determinată cu o precizie care corespunde unei erori de numai $\pm 0,3$ m în diferența dintre cele două semiaxe; se confirmă existența unei turtiri a ecuatorului, aceasta nefiind cerc ci elipsă, $f_e = 1 : 91\ 827$ în dreptul valorii $\lambda = 15^\circ,4$ vest, diferența dintre cele două semiaxe ale ecuatorului fiind de $69,5 \pm 0,8$ m; cu privire la interiorul Pământului s-a constatat că există abateri de la distribuția uniformă a masei în interior, neregularități în masa terestră.

8.4. TELEDETECȚIA PĂMÎNTULUI DIN SATELIȚI ȘI NAVE SPAȚIALE

Resursele naturale ale Pământului sînt „ascunse” de mediul înconjurător și mijloacele actuale clasice de descoperire sau urmărire a acestor resurse, de suprafață sau din subsol, nu mai sînt eficiente. Cerințele actuale de urmărire la scară mondială, de supraveghere globală a cadrului natural, de investigare a resurselor terestre de pe sol și din subsol, din apă sau din atmosferă au impulsionat dezvoltarea mijloacelor tehnice și tehnologiilor de înregistrare din spațiul cosmic. Teledetecția, acest sistem interdisciplinar de investigare și în special teledetecția din sateliți, facilitează descoperirea de noi resurse naturale și urmărirea celor existente, prin identificarea și înregistrarea radiațiilor emise, absorbite sau reflectate de obiectele materiale sau prin sesizarea influenței obiectelor asupra mediului ambiant.

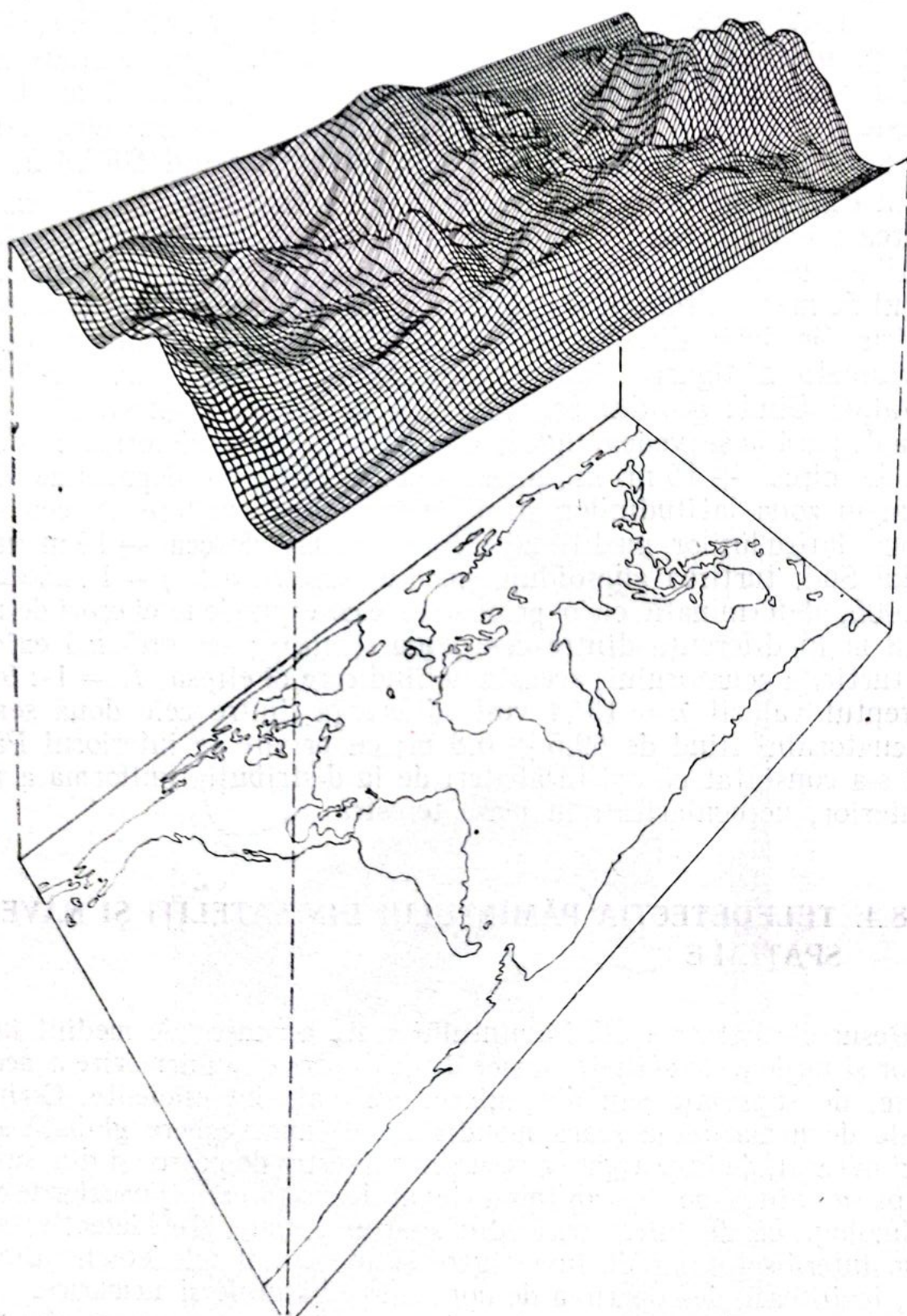


Fig. 8.9. Reprezentarea undulațiilor geoidului GRIM 2 la un automat de desen.

Energia în natură și radiația electromagnetică. În natură se produce un continuu schimb de energie, exprimat prin bilanțul energetic al radiației solare incidente și din energia incidentă (recepționată) la un obiect o parte este stocată de acesta, alte părți sînt transmise sau reflectate, totodată acesta emițînd energie luminoasă sau termică. Teoria electromagnetică a luminii consideră că atît radiațiile luminoase cît și celelalte asemănătoare (IR, UV, X etc.) sînt tot de natură electromagnetică și se deosebesc prin lungimile de undă. Informații cu privire la un obiect sau fenomen din natură despre stare, formă și dimensiuni, compoziție, temperatură sau unele proprietăți specifice se pot obține sesizînd și înregistrînd radiațiile în lungimi de undă cunoscute.

Utilizarea radiației electromagnetice ca mijloc de comunicare între un obiect sau fenomen, aflat sau produs la distanță, deci fără a intra în contact direct cu acesta și un sensor, constituie o cale sigură și rapidă de a afla amănunte despre acestea, existînd posibilitatea de a măsura: cantități, lungimea de undă (frecvența), distribuția pe x — y (polarizarea) și pe z (faza) pentru energiile primite, transmise, reflectate și emise; timpul de întîrziere dintre recepție și reflexie sau emisie; durata de emisie după terminarea recepției; schimbările în timp a elementelor menționate. Într-un spațiu liber radiațiile electromagnetice se propagă cu viteza de $3 \cdot 10^8$ m/s (cea mai bună valoare obținută pentru viteza luminii în vid — $299\,792 \pm 0,3$ km/s), dar într-un material viteza de propagare a acestor radiații depinde de proprietățile materialului și frecvența undei.

Viteza de propagare a unei radiații electromagnetice c se poate exprima în funcție de lungimea de undă λ și frecvența sa ν prin relația

$$c = \nu \lambda \quad (8.18)$$

iar *efectul Doppler*, reprezentînd modificarea frecvenței unei radiații electromagnetice recepționate de la o sursă ν' în funcție de deplasarea relativă față de ea a sensorului de înregistrare, este dat de relația

$$\nu' = \nu \frac{(1 - \beta^2)^{1/2}}{1 - \beta \cos \varphi} \quad (8.19)$$

în care ν — este frecvența radiației la sursă, β — raportul dintre viteza sursei și viteza de propagare a radiației electromagnetice și φ — unghiul dintre direcția de deplasare a sursei și direcția dintre sursă și sensor.

Energia undelor electromagnetice se poate exprima prin *mărimi radiometrice* (energetice), legate direct de energia radiației electromagnetice și *mărimi fotometrice*, care se referă la senzația vizuală din spectrul vizibil.

Informațiile primite la distanță de la un obiect prin intermediul radiațiilor electromagnetice se numește *răspuns spectral*, diferențiînd

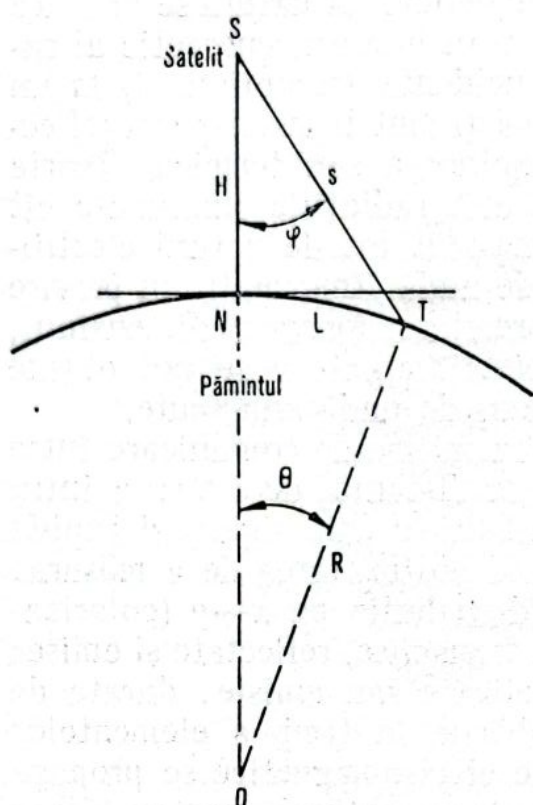


Fig. 8.10. Geometria înregistrării Pământului din sateliți artificiali.

obiectele sau caracterizându-le în timp, iar dacă înregistrările se realizează în mai multe benzi spectrale acestea se numesc *multispectrale*.

Geometria înregistrării din satelit. Traiectoriile platformelor spațiale sînt formate din două părți: cea activă, în care rolul principal îl are forța de reacție a rachetei purtătoare și cea pasivă, în care acționează în primul rînd forța gravitațională a Pământului. Racheta purtătoare se deplasează datorită forței de propulsie a unui jet de gaze produs prin arderea unui combustibil și evacuarea cu viteză foarte mare. Poziția unei platforme spațiale (satelit artificial, navă pilotată) așezată pe orbita circumterestră finală se urmărește continuu prin parametrii săi (a se vedea punctul 8.1).

Elementele geometrice ale acoperirii suprafeței Pământului dintr-un satelit artificial sînt indicate în figura 8.10. Relațiile de bază rezultă

$$s = [H + R (1 - \cos \theta)] \sec \varphi \quad (8.20)$$

în care s — este distanța sensor—Pământ la marginea imaginii, H — înălțimea la care se află satelitul, R — raza Pământului, θ — jumătate din unghiul la centrul Pământului sub care se vede suprafața înregistrată, φ — jumătate din unghiul de cîmp al sensorului de teledetecție aflat pe satelit. Iar

$$L = R \theta \quad (8.21)$$

în care valoarea L — este distanța pe suprafața terestră de la punctul subsatelit N la extremitatea zonei înregistrate T și valoarea lui θ este în radiani și rezultă din

$$\theta = \sin^{-1} \left[\frac{R+H}{R} \sin \varphi \right] - \varphi. \quad (8.22)$$

Pentru a nu conține unghiul θ relațiile 8.20 și 8.21 se pot transforma în forma aproximativă

$$\left. \begin{aligned} s &= \left[H + \frac{H^2}{2R} \operatorname{tg}^2 \varphi \right] \sec \varphi \\ L &= [(s \sin \varphi)^2 + (s \cos \varphi - H)^2]^{1/2}. \end{aligned} \right| \quad (8.23)$$

Cînd nu se ține cont de curbura Pămîntului relațiile 8.23 devin

$$\left. \begin{aligned} s &= H \sec \varphi \\ L &= H \operatorname{tg} \varphi. \end{aligned} \right| \quad (8.24)$$

8.5. TIPURI DE ÎNREGISTRĂRI ȘI PRELUCRAREA LOR

În cadrul procesului de sesizare și înregistrare a unor informații cu privire la obiectele aflate sau fenomenele produse la distanță deci fără a veni în contact direct cu acestea, purtătorii de informații sînt cîmpurile de forță (electromagnetic, gravitațional și acustic). Înregistrarea acestor informații se obține cu captori-sensori (spre exemplu într-un sistem fotografic aparatul este captorul, iar materialul fotosensibil este sensorul), care vor fi numiți generic sensorii și se pot grupa astfel: în *sensori pasivi* și *sensori activi*, cînd înregistrează energia naturală provenită de la obiect (radiația solară, modificările de temperatură), respectiv cînd se transmit impulsuri spre obiect și se primește răspunsul acestora (sensorii radar și sonar); în *sensori fotografici* și *sensori nefotografici*, deci care produc sau nu produc direct imagine fotografică; în funcție de sistemul constructiv de obținerea înregistrării (sistem fotografic, de televiziune, de baleiere optico-mecanică, radar); în funcție de domeniul spectral în care acționează (sensori pentru vizibil, infraroșu, ultraviolet, microunde sau multispectrali). În figura 8.11 este prezentat spectrul electromagnetic cu domeniile spectrale cunoscute, delimitate prin frecvență (în Hz) sau lungimea de undă λ (în Å, μm , cm, m, și km), făcîndu-se o detaliere pentru domeniile spectrale folosite în prezent pentru înregistrări de teledetecție. Radiațiile electromagnetice, în ordinea descrescîndă a frecvenței și crescîndă a lungimii de undă sînt:

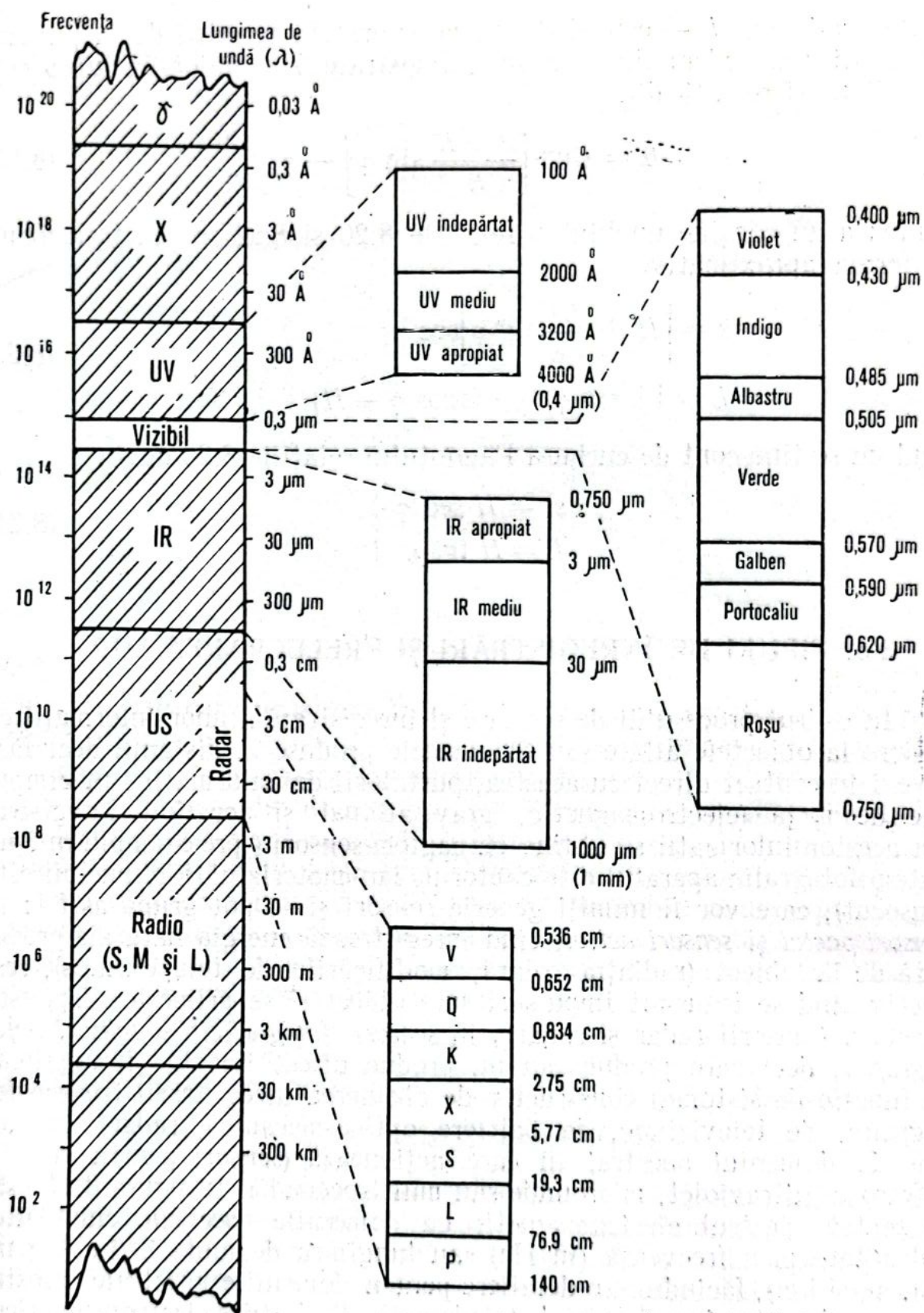


Fig. 8.11. Spectrul electromagnetic și zonele utilizate în teledetecție în prezent.

radiațiile gama (γ), razele X (Röntgen), radiațiile ultraviolete, radiațiile vizibile, radiațiile infraroșii, microundele, undele radio. Delimitările dintre domenii sau în cadrul acestora sînt aproximative neputîndu-se face o delimitare riguroasă, porțiunea extremă superioară a unei zone suprapunîndu-se peste cea inferioară a zonei vecine, iar zona undelor radar a fost împărțită convențional în cele șapte benzi de frecvență. În cele ce urmează referirile la înregistrări și senzori se fac în funcție de aceste considerente, domeniul spectral în care acționează un sensor și chiar banda spectrală îngustă fiind hotărîtoare în caracterizarea înregistrării.

Senzori fotografici. Se obține direct imaginea suprafeței de teren studiate prin intermediul unei camere fotografice normale, metrice sau multispectrale și a unui material fotosensibil; fiind un sistem de înregistrare pasiv sesizează obiectul luminat de Soare în zile fără nori și acționează de regulă în domeniul vizibil al spectrului electromagnetic ($0,400-0,750 \mu\text{m}$); limitele de sensibilitate ale materialelor fotosensibile se extind deseori către ultravioletul apropiat ($0,350 \mu\text{m}$), dar și către infraroșul apropiat pentru emulsii fotografice speciale $0,9 \mu\text{m}$, sau chiar $1,2 \mu\text{m}$. Se pot obține mai multe tipuri de fotografii: convenționale (alb-negru sau color) și neconvenționale (infraroșu alb-negru, infraroșu fals color, spectrozonală și multispectrală). Pentru preluarea fotografiilor cosmice metrice se folosesc camere aerofotogrammetrice (a se vedea fotografia 4.5), iar pentru a celor multispectrale, camere multispectrale, de obicei cu patru obiective (a se vedea fotografia 4.6) sau cu un sistem de descompunere spectrală a fasciculului luminos incident.

Pentru înregistrarea fotografică a Pămîntului din spațiul extraatmosferic apare necesitatea existenței unui mijloc de recuperare a materialului fotografic, fie prin reîntoarcerea cosmonauților pe solul terestru, fie prin dotarea sateliților sau a navelor spațiale automate cu un sistem de recuperare a acestuia (a se vedea punctul 8.6). În fotografia 8.1 este redată o imagine a Pămîntului obținută cu o cameră fotografică normală de către cosmonauții uneia dintre misiunile Apollo, cînd se aflau în apropierea Lunii la aproximativ 384 000 km de Pămînt și în fotografia 8.2 o imagine realizată cu o cameră metrică din laboratorul spațial Saliut 4, de la distanța de aproximativ 250 km.

Senzori de televiziune. Înregistrările cu camere de televiziune, în alb-negru sau color, necesită în aceeași măsură ca și sistemul fotografic existența unor suprafețe luminate de Soare. Domeniul spectral de funcționare este de obicei similar celui fotografic, $0,350-0,750 \mu\text{m}$. Sistemul este folosit pentru transmiterea imaginilor la distanță, fotografia obținîndu-se de regulă prin înregistrarea imaginii apărute pe ecran. În fotografia 8.3 este prezentată o imagine a Pămîntului preluată

de la aproximativ 900 km cu o cameră de televiziune aflată pe un satelit meteorologic din seria Meteor 2.

Sensori de baleiere. Acești sensori acționează, atât ziua cât și noaptea, în mai multe domenii spectrale (vizibil, infraroșu, microunde) și în funcție de acestea se deosebesc: baleierea multispectrală cuprinzând domeniile vizibil și infraroșul apropiat ($0,3-3,0 \mu\text{m}$), baleierea termică în infraroșul mediu (termic) cu limitele de înregistrare $3-5 \mu\text{m}$ și $8-14 \mu\text{m}$, precum și baleierea cu microunde pentru limitele spectrale $1 \text{ mm}-1 \text{ m}$. Sensorii de baleiere multispectrală au o largă utilizare în teledetecție, pentru cercetarea resurselor terestre și urmărirea mediului înconjurător, deoarece imaginea se realizează, pentru elemente de suprafață, pe bandă magnetică. Fiecărui element de suprafață îi corespunde un element de imagine (pixel).

Radiația captată cu ajutorul unei oglinzi de baleiere (figura 8.12) trece printr-un sistem optic și prin intermediul unui sistem de dispersie ajunge la un grup de detectori specifici diferitelor benzi spectrale, este transformată în semnale electrice și astfel poate fi depozitată pe o bandă magnetică de înaltă densitate (sub formă digitală). Semnalele obținute în timp cu privire la o suprafață de teren care a fost înregistrată se pot prelucra automat la instalații electronice de calcul și, eventual, converti în imagine afișată pe o imprimantă, un display sau pe un suport fotografic. Semnalul instantaneu produs de un detector este exprimat de relația (Goetz)

$$S_x = \frac{1}{\pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \rho(\lambda) \Phi(\lambda) I_s(\lambda) T_a(\lambda) i(\lambda) d\lambda + \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_t(\lambda) d\lambda \quad (8.25)$$

în care x — este detectorul sensibil la radiația din zona lungimii de undă dintre λ_1 și λ_2 , λ — lungimea de undă, ρ — reflectanța spectrală a suprafeței (este cel mai important parametru), Φ — funcția fotometrică a suprafeței, I_s — iradianța solară la suprafață, T_a — transmitanța atmosferică, i — factor instrument care înglobează răspunsul detectorului și transmisia sistemului optic și R_t — radianța traiectoriei (pe direcția de incidență a radiațiilor). Al doilea termen al relației 8.25 exprimă influența luminii solare împrăștiată de atmosferă pe direcția de recepționare a sensorului, iar în condiții obișnuite ceilalți parametri rămân aproape constanți în aceeași imagine.

Patru imagini obținute simultan de sensorul de baleiere multispectrală de pe un satelit de teledetecție Landsat, cuprinzând o suprafață de teren din România, se prezintă în fotografia 8.4 (în benzile spectrale $0,5-0,6 \mu\text{m}$, stînga sus și $0,6-0,7 \mu\text{m}$, stînga jos, pentru domeniul vizibil, iar $0,7-0,8 \mu\text{m}$, dreapta sus și $0,8-1,1 \mu\text{m}$ dreapta jos, pentru infraroșul apropiat).

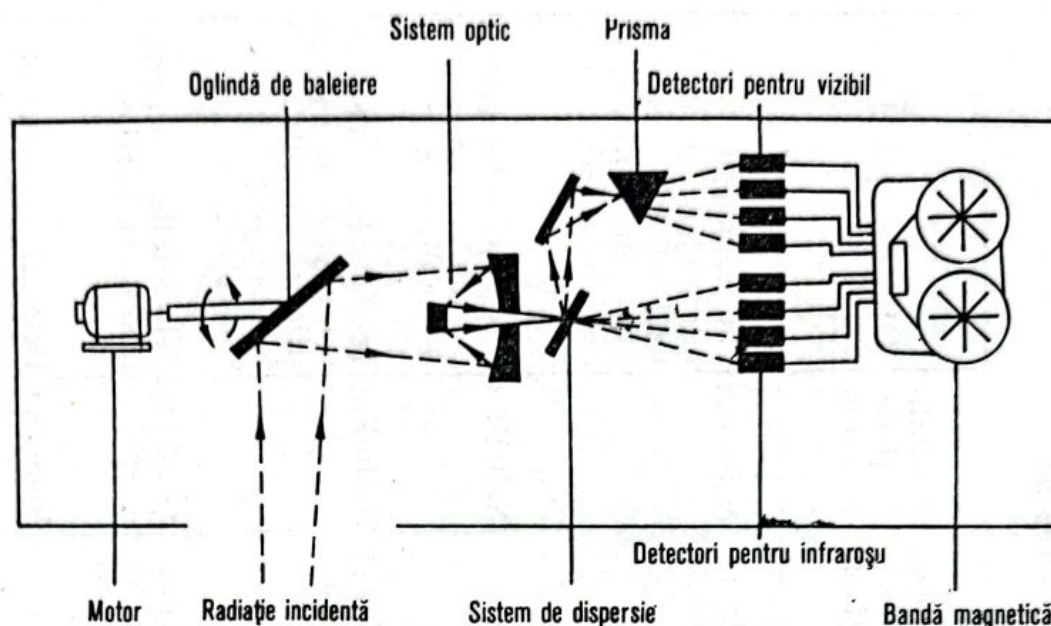


Fig. 8.12. Schema de principiu a unui sensor de baleiere multispectrală.

Sensorii activi radar au fost folosiți, pînă în prezent, în mică măsură pentru înregistrări asupra Pămîntului din sateliți. În tabelul 8.2 se face o grupare a sensorilor de teledetecție în funcție de sistemul de înregistrare și tipul sensorului.

8.6. PROGRAME DE TELEDETECȚIE SPAȚIALĂ

Numeroase dintre misiunile spațiale cu sateliți artificiali și nave cosmice pilotate sau automate care au avut ca obiectiv planeta noastră, Terra, au efectuat înregistrări de teledetecție pentru cercetarea resurselor terestre și urmărirea mediului înconjurător. În continuare sînt prezentate numai acele programe de cercetări spațiale care au realizat, în cadrul unor misiuni, înregistrări de teledetecție (imagini vizuale sau digitale) și anume: TIROS, Nimbus, ESSA, ATS, Meteor, NOAA, SMS, Cosmos, GEOS și Meteosat, sateliții meteorologici sau cu alte destinații principale, Voshod, Mercury, Gemini, Soiuz, Apollo, Saliut și Skylab, nave spațiale cu oameni la bord și Landsat, satelit specializat de teledetecție.

Programe cu sateliți meteorologici. Sensorii plasați pe sateliții meteorologici, de baleiere sau de televiziune, au realizat înregistrări, în domeniul vizibil și în infraroșul apropiat sau termic utile meteorologiei dar și cercetărilor științifice cu privire la urmărirea mediului înconjurător al scoarței terestre. Cu toate că rezoluția obținută la teren era

Tabelul 8.2

Captori-sensori de teledetecție, proprietățile și utilizarea lor

Sistem de înregistrare	Captor-sensor	Tipul	Sursa de energie	Domeniul spectral de funcționare	Rezoluția spectrală	Condițiile de obținere	Posibilități de penetrare	Utilizarea principală
Pasiv	Camera fotografică	Alb-negru Color Fals-color Spectrozonală Multispectrală	Soarele	0,35—0,70 μm 0,35—0,70 μm 0,50—1,00 μm 0,35—1,20 μm 0,35—1,20 μm	0,4 μm 0,2 μm 0,2 μm 0,1 μm 0,1 μm	Zi fără nori	Nelimitat	Fotogrammetrie, fotointerpretare și teledetecție; hărți, selecționarea sau clasificarea obiectelor și fenomenelor
	Sensor de televiziune	Alb-negru Color	Soarele	0,35—0,70 μm 0,35—0,70 μm	0,4 μm 0,2 μm	Zi fără nori	Nelimitat	Înregistrare fotografică din satelit și transmiterea la distanță
	Sensor de baleiere	Multispectrală Termică Cu microunde	Pământul	0,3—3,0 μm 3—5; 8—14 μm 1 mm—1 m	0,02 μm 5 μm 10%	Zi și noaptea fără nori	Nelimitat	Teledetecție: detectarea, selecționarea și clasificarea obiectelor și fenomenelor; hărți tematiche
Activ	Radar		Impulsuri cu microunde	5 mm—1 m	0,5%	Zi și noaptea cu sau fără nori	3—20 km	Teledetecție aeriană; întocmirea hărților
	Sonar		Impulsuri cu ultrasunete	1 cm		În apă	50m--2km	Detectarea obiectelor subacvatice

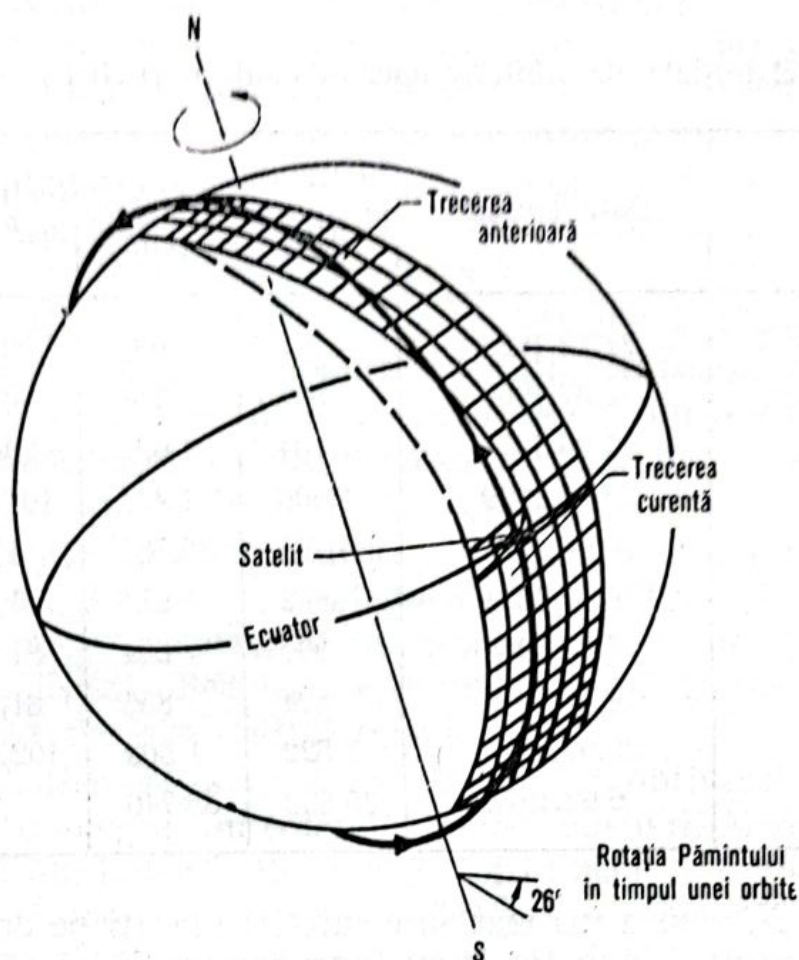


Fig. 8.13. Înregistrarea suprafeței terestre dintr-un satelit artificial plasat pe o orbită circumterestră circulară aproape polară.

mică, aceasta scăzând substanțial de la punctul sub satelit către marginile imaginii, datorită în principal curburii Pământului, imaginile spațiale obținute repetat pe mari suprafețe au fost deosebit de utile determinărilor de teledetecție. În figura 8.13 este prezentat modul de înregistrare de pe o orbită circumterestră circulară aproape polară cu un sistem de televiziune de genul sateliților TIROS sau Nimbus.

Programul TIROS (Television and InfraRed Observation Satellite) a realizat înregistrări în banda spectrală $0,5-0,7 \mu m$, cu cele două camere de televiziune cu tub vidicon, deasupra zonelor luminate de Soare; în cadrul celor nouă misiuni spațiale s-au obținut în cursul a cinci ani de funcționare un număr de aproximativ 560 000 de imagini TV, realizând în timpul fiecărei orbite câte 96 de imagini care acoperea fiecare o suprafață terestră de $3\,200 \times 3\,200$ km. În tabelul 8.3 se prezintă câteva caracteristici ale orbitelor unor misiuni cu sateliți meteorologici.

Tabelul 8.3

Caracteristici inițiale ale orbitelor unor misiuni cu sateliți meteorologici

Satelitul	Data lansării	Înălțimea la apogeu (km)	Înălțimea la perigeu (km)	Înclinarea (°)	Perioada (min)
TIROS 8	21.12.1963	765	691	58,48	99,33
TIROS 10	2.07.1965	837	751	98,65	100,76
Nimbus 6	12.06.1975	1 104	1 092	99,96	107,30
ESSA 9	26.02.1969	1 506	1 421	101,78	115,18
ATS 6	30.05.1974	35 791	35 781	1,6	1 436,1
Meteor 1/9	16.07.1971	642	614	81,19	97,29
Meteor 1/27	5.04.1977	897	854	81,25	102,50
Meteor 2/3	14.12.1977	894	856	81,22	102,48
NOAA 5	29.07.1976	1 522	1 509	102,0	116,34
SMS 2	6.02.1975	35 830	35 740	1,90	1 436

Programul Nimbus a utilizat șase sateliți plasați pe orbite aproape polare care au folosit, în funcție de misiune, camere de televiziune, radiometre de baleiere în infraroșu în diferite benzi spectrale ($0,8-1,1 \mu\text{m}$, $3,4-4,2 \mu\text{m}$, $8,3-9,3 \mu\text{m}$, $10,2-11,2 \mu\text{m}$) sau cu microunde (lungimea de undă — $1,55 \text{ cm}$).

Programul ESSA (Environmental Science Services Administration) a beneficiat de înregistrările operaționale a șapte sateliți care au realizat imagini cu senzori similari celor utilizați de sateliții meteorologici TIROS și Nimbus.

Programul ATS (Application Technology Satellite) a folosit senzori de baleiere prin rotire în cadrul celor patru misiuni reușite, sateliții fiind plasați pe orbite geostaționare, deasupra ecuatorului. Imaginile color sau alb-negru cuprind aproximativ 40% din suprafața terestră, fiecare cadru fiind realizat în 24 de minute.

Programul Meteor a utilizat două generații de sateliți, Meteor 1 și Meteor 2, în numeroasele misiuni obținându-se înregistrări cu senzori de televiziune în mai multe benzi spectrale (a se vedea fotografia 8.3).

Programul NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) a lansat pînă în prezent șase sateliți operaționali înzestrați cu radiometre de baleiere acționînd în benzile spectrale $0,52-0,72 \mu\text{m}$ ziua și $10,5-12,5 \mu\text{m}$ ziua și noaptea.

Programul SMS (Synchronous Meteorological Satellite) a folosit sateliți plasați pe orbite geostaționare pentru obținerea, tot în scopuri meteorologice, de imagini globale ale Pământului în benzile spectrale $0,55\text{--}0,70\ \mu\text{m}$ (vizibil) și $10,5\text{--}12,6\ \mu\text{m}$ (infraroșul termic). În fotografia 8.5 este prezentată o imagine obținută din SMS 1 la 15 august 1974, cu rezoluția sub satelit de $0,8\ \text{km}$. Pentru banda spectrală termică rezoluția în același punct scade la $8\ \text{km}$.

Programul Meteosat, aflat la prima sa misiune la 23 noiembrie 1977, folosește tot o orbită geostaționară, satelitul Meteosat 1 fiind plasat deasupra Golfului Guineei (Africa), deasupra ecuatorului exact în punctul 0° longitudine. Satelitul obține imagini în trei benzi spectrale: $0,5\text{--}1,0\ \mu\text{m}$, $5,7\text{--}7,1\ \mu\text{m}$ și $10,5\text{--}12,5\ \mu\text{m}$.

Programele Mercury și Gemini. În cadrul acestor programe americane de cercetare din nave spațiale cu oameni la bord plasate pe orbite circumterestre au fost efectuate numeroase experimente științifice, dar cele care fac obiectul teledetecției se referă la înregistrarea fotografică a suprafeței terestre din spațiul cosmic.

Programul Mercury a avut ca obiectiv și obținerea de fotografii convenționale alb-negru sau color, în cadrul misiunii Mercury 2 în zbor suborbital fără om la bord, Mercury 3 și 4 în zbor de asemenea suborbital dar cu un cosmonaut la bord și Mercury 6 — 9 în zbor orbital, de către cosmonautul aflat în fiecare navă spațială. Misiunile Mercury s-au desfășurat între 31 ianuarie 1961 și 16 mai 1963, iar orbitele ultimelor patru nave spațiale au următoarele caracteristici inițiale aproximative: înălțimea la apogeu — $270\ \text{km}$, înălțimea la perigeu — $161\ \text{km}$, înclinarea orbitei față de planul ecuatorului — $32^\circ,5$ și perioada — $88,7$ minute.

Primele fotografii color ale Pământului din spațiul cosmic au fost obținute automat (167 fotografii, în ritmul de 10 imagini/minut) pe toată durata evoluției navei spațiale Mercury 2 în zbor suborbital la 31 ianuarie 1961. Marea majoritate dintre fotografiile realizate în cadrul programului au fost de foarte bună calitate. S-au utilizat camere fotografice normale: Maurer 200 G cu $f = 70\ \text{mm}$ (Mercury 2 și 3), Ansco Autoset cu $f = 35\ \text{mm}$ (Mercury 6 și 7) și Hasselblad 500 C cu $f = 80\ \text{mm}$ (Mercury 8 și 9).

Programul Gemini, cu doi cosmonauți la bord, s-a desfășurat între 23 martie 1965 și 15 noiembrie 1966, printre numeroasele experimente științifice realizate fiind și obținerea de fotografii alb-negru, color și infraroșu color (unele și cu suprapunere stereoscopică) de pe orbitele cu următoarele caracteristici inițiale: înălțimea la apogeu de $226\text{--}349\ \text{km}$,

înălțimea la perigeu de 151—270 km, înclinarea orbitei de $28^{\circ},8-32^{\circ},6$ și perioada de 88,3—89,7 minute. Înregistrările fotografice, cele mai multe de calitate excelentă, au prezentat un deosebit interes pentru cercetările de teledetecție a Pământului din spațiul cosmic, demonstrând utilitatea folosirii sateliților dotați cu sensori pentru inventarierea resurselor naturale și urmărirea mediului înconjurător.

Misiunile Gemini 3—12 au utilizat patru tipuri de camere fotografice normale: Hasselblad 500 C cu $f = 80$ mm și $f = 250$ mm, Maurer cu $f = 80$ mm, Zeiss Contarex cu $f = 50$ mm, 250 mm și 1 400 mm și Hasselblad SWA cu $f = 38$ mm pentru misiuni extravehiculare în spațiu*. Au fost obținute numeroase fotografii cuprinzând teritorii din S.U.A., Insulele Canare, Mauritania, Tanzania, Mexic, America de Sud etc.

Programele Soiuz și Saliut. Aceste programe sovietice cu nave spațiale Soiuz și laboratoare orbitale Saliut au utilizat numeroase misiuni din anul 1967 și pînă în prezent. Din cadrul unora dintre ele, printre alte experimente, s-au efectuat și înregistrări fotografice cu camere fotografice normale, cu camere fotogrammetrice și multispectrale. Sint cunoscute înregistrări fotografice, obținute asupra teritoriului României, cu camere fotogrammetrice cu $f \approx 200$ mm în cinci benzi spectrale cuprinse între $0,45 \mu\text{m}$ și $0,85 \mu\text{m}$ (a se vedea fotografia 8.2), ca și înregistrările fotografice multispectrale realizate în anul 1976 (Soiuz 22) pînă în prezent (Saliut 6) cu camera Zeiss MKF 6 în vizibil și infraroșul apropiat în șase benzi spectrale: $0,46-0,50 \mu\text{m}$, $0,52-0,56 \mu\text{m}$, $0,58-0,62 \mu\text{m}$, $0,64-0,68 \mu\text{m}$, $0,70-0,74 \mu\text{m}$ și $0,79-0,89 \mu\text{m}$.

Pînă în prezent au fost lansate în spațiul ccsmic peste 40 de nave spațiale Soiuz (anul 1981) și cinci laboratoare orbitale (Saliut 1; 3—6) pe orbită medie cu următoarele caracteristici inițiale: înălțimea la apogeu ≈ 250 km, înălțimea la perigeu ≈ 190 km, înclinarea orbitei $\approx 51^{\circ},6$ și perioada ≈ 89 minute.

Programele Apollo și Skylab. Aceste programe au realizat un impresionant de bogat și variat material pentru cercetările de teledetecție cu privire la scoarța terestră, utilizat în numeroase țări pentru inițierea și dezvoltarea tehnicilor de teledetecție în cele mai diferite domenii de activitate. Geografia, geologia, agricultura, silvicultura, hidrologia ș.a. au beneficiat în largă măsură de avantajele utilizării fotografiilor cosmice realizate de misiuni Apollo sau Skylab.

* O cameră fotografică Hasselblad SWA a fost pierdută la 21 iulie 1966 de către cosmonautul Collins în timpul activității sale în afara navei Gemini 10; aceasta a devenit „satelit artificial” al Pământului.

Programul Apollo, cu foarte numeroasele sale experimente științifice, a avut ca obiectiv principal cercetarea Lunii (a se vedea capitolul 10), dar misiunile Apollo 4, 5 și 6 fără oameni la bord au obținut automat fotografii de pe orbite circumterestre. Misiunea Apollo 7, prima cu cosmonauți, tot pe orbită circumterestră, a obținut cu o cameră fotografică cu $f = 70$ mm cca 200 de fotografii utilizabile. Misiunea Apollo 9 cu trei cosmonauți, desfășurată la 3—13 martie 1969 pe o orbită foarte joasă (193 km/190 km, 32°58,88,19 minute) a utilizat camere Hasselblad 500 C, Hasselblad SWA și un sistem de patru camere Hasselblad 500 EL care au produs fotografii multispectrale în benzile: 0,510—0,890 μm color IR, 0,470—610 μm alb-negru, 0,680—0,890 μm alb-negru IR și 0,590—0,715 μm alb-negru, pentru cercetarea resurselor naturale ale Pământului.

Programul Skylab a utilizat un laborator spațial cu un impresionant spațiu de lucru în care au activat în perioada 25 mai 1973—8 februarie 1974 trei echipe de cosmonauți aduși cu nave spațiale de tip Apollo. Laboratorul a evoluat pe o orbită circumterestră (a se vedea figura 8.2) cu următoarele caracteristici: 440 km/425 km, 50°04,93,17 minute. Experimentele în legătură cu realizarea de înregistrări spațiale de teledetecție, printre cele peste 270 de altă natură efectuate, au fost cuprinse în programul de cercetări EREP (Earth Resources Experiment Package) și s-au referit la: determinări cu un spectrometru în infraroșu în benzile spectrale 0,4—2,4 μm și 6,3—15,5 μm , determinări cu un radiometru cu microunde cu funcționare în banda L și trei sensori pentru preluarea de imagini ale suprafeței terestre (camere multispectrale, cameră fotografică de mare rezoluție și sensor de baleiere multispectrală).

Sistemul de șase camere fotografice multispectrale S 190 A cu distanțele focale de 150 mm au acționat în benzile spectrale 0,5—0,6 μm și 0,6—0,7 μm alb-negru, 0,7—0,8 μm și 0,8—0,9 μm alb-negru IR, 0,5—0,88 μm color IR și 0,4—0,7 μm color, de la înălțimea nominală de 435 km acoperind fiecare o suprafață de teren de 150×150 km, cu rezoluția la teren de 20—30 m pentru fotografia convențională și 95—110 m pentru cea în infraroșu. Camera fotografică de mare rezoluție a efectuat înregistrări fotografice cu rezoluții la teren foarte bune: 10 m în alb-negru, 20 m pentru color și 38 m pentru color IR. Sensorul de baleiere multispectrală S 192 a efectuat înregistrări în șase benzi spectrale (0,410—0,762 μm) din zona vizibilă a spectrului, în șase benzi (0,783—2,350 μm) din infraroșul apropiat și în banda 10,2—12,5 μm a infraroșului termic.

Programul Landsat. Pornind de la ideea că un sistem de teledetecție este cu atât mai eficient din punct de vedere economic cu cât este mai perfecționat din punct de vedere tehnic, pentru programul specializat de teledetecție Landsat au fost utilizați sateliți de tipul Nimbus într-o versiune modificată, perfecționată. Au fost lansați până în prezent trei sateliți de teledetecție în acest program, devenind operaționali și fiind utilizați în numeroase scopuri dar în special pentru inventarierea resurselor terestre și urmărirea mediului înconjurător, rezultatele obținute până în prezent fiind de-a dreptul spectaculoase: Landsat 1 (numit inițial ERTS — Earth Resources Technology Satellite) la 23 iulie 1972, Landsat 2 la 22 ianuarie 1975 și Landsat 3 la 5 martie 1978. Plasați pe orbite aproape circumpolare (înălțimea 915 km, înclinarea 99° și perioada 103,3 minute) ei revin riguros din 18 în 18 zile deasupra aceleiași zone și realizează două feluri de imagini: cu un sensor de baleiere multispectrală (MSS — Multispectral Scanner) se obțin înregistrări în patru benzi spectrale ($0,5-0,6 \mu\text{m}$, $0,6-0,7 \mu\text{m}$, $0,7-0,8 \mu\text{m}$ și $0,8-1,1 \mu\text{m}$) pe bandă magnetică de înaltă densitate care se transmit telemetric la sol și se convertesc pe bandă magnetică compatibilă cu calculatorul (CCT) sau în imagine fotografică; cu trei camere de televiziune (RBV — Return Beam Vidicon) în benzile spectrale $0,475-0,575 \mu\text{m}$, $0,580-0,680 \mu\text{m}$ și $0,690-0,830 \mu\text{m}$. Înregistrările acoperă suprafețe de teren de $185 \times 185 \text{ km}$, cu o suprapunere transversală, între benzi, deasupra teritoriului României de aproximativ 40%. În fotografia 8.4 sînt rediate patru înregistrări pentru aceeași zonă în cele patru benzi spectrale de lucru ale sensorului de baleiere.

Sensorul de baleiere al satelitului Landsat 3 posedă și o a cincea bandă, termică, $10,4-12,6 \mu\text{m}$, iar camerele sensorului de televiziune RBV sînt modificate, două camere produc înregistrări în aceeași bandă $0,505-0,750 \mu\text{m}$ acoperind la teren fiecare o suprafață de $98 \times 98 \text{ km}$.

România este acoperită cu opt treceri (orbitele 194—201) și cca 25 imagini (figura 8.14) în opt zile consecutive la aproximativ ora 8 și 20 minute în fiecare zi. Rezoluția la teren este de 79 m pentru înregistrările de baleiere și 237 m pentru canalul termic al misiunii Landsat 3. O imagine se obține în mai puțin de o jumătate de minut ($34\,000 \text{ km}^2$) și conține 2 340 linii de baleiere cu cîte $3\,000-3\,450$ elemente de imagine (pixel) fiecare, în total peste 7 milioane de pixeli.

În tabelul 8.4 se prezintă programele spațiale care au efectuat înregistrări de teledetecție asupra Pămîntului cu obținerea de imagini fotografice, în sistem TV sau pe bandă magnetică.

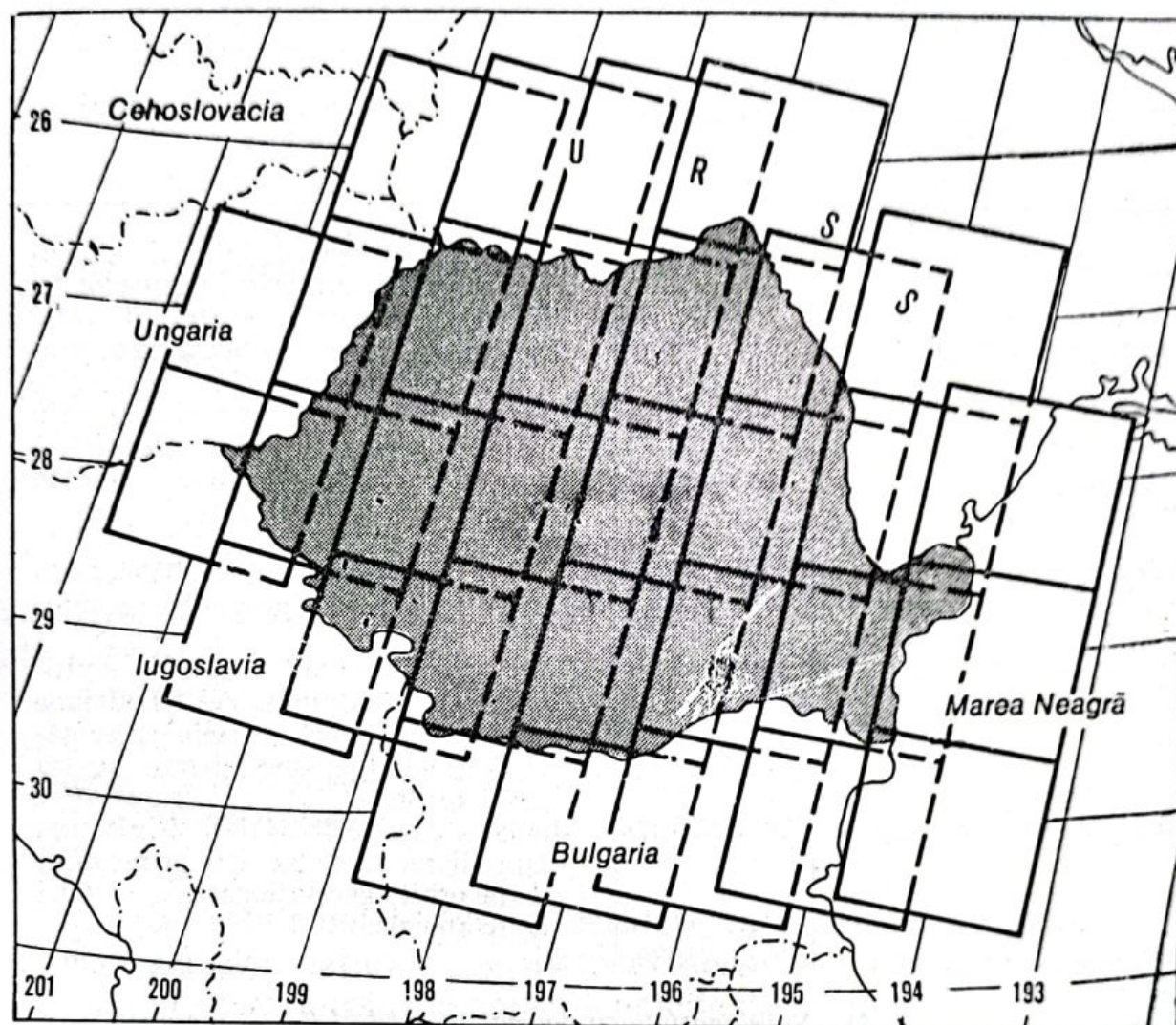


Fig. 8.14. Modul de realizare a înregistrărilor de teledetecție deasupra teritoriului României cu sensorul de baleiere multispectrală din sateliții Landsat 1-3.

Tabelul 8.4

Programe de teledetecție spațială asupra Pământului (înregistrări cu obținerea de imagini fotografice sau pe bandă magnetică)

Programul spațial	Misiunea	Perioada desfășurării programului	Înregistrări realizate și scopul acestora
<i>I. Sateliți artificiali</i>			
TIROS	1; 3—10	1960—1965	Imagini cu camere de televiziune în scopuri meteorologice
Nimbus	1—6	1964—1975	Imagini cu camere de televiziune și radiometre de baleiere pentru scopuri meteorologice

Tabelul 8.4 (continuare)

Programul spațial	Misiunea	Perioada desfășurării programului	Înregistrări realizate și scopul acestora
Cosmos		1965—1981	Imagini cu camere de televiziune pentru cercetări, urmărirea resurselor terestre și meteorologie
ESSA	1; 2; 5—9	1966—1969	Imagini cu camere de televiziune pentru cercetări și scopuri meteorologice
ATS	1; 3; 5—6	1966—1974	Imagini globale alb-negru și color prin baleiere pentru diferite scopuri
Meteor		1969—1981	Imagini cu camere de televiziune în vizibil și infraroșul apropiat pentru scopuri meteorologice
NOAA	1—6	1970—1981	Înregistrări cu sensori de baleiere în vizibil și infraroșu pentru scopuri meteorologice
Landsat	1—3	1972—1981	Înregistrări cu sensori de baleiere multi-spectrală și camere de televiziune pentru cercetarea resurselor și urmărirea mediului; specializare pentru teledetecție
SMS	1—2	1974 —1975	Imagini globale în vizibil și infraroșu cu radiometre de baleiere prin rotire, de pe orbită geostaționară, în scopuri meteorologice
Meteosat	1	1977—1980	Idem
II. Nave spațiale cu oameni la bord			
Mercury	2—4; 6—9	1961—1963	Imagini fotografice alb-negru și color obținute de cosmonauți pentru scopuri științifice
Gemini	3—12	1965—1966	Idem, dar și pentru cercetări de teledetecție
Soiuz		1967—1980	Imagini fotografice convenționale și multispectrale pentru cercetarea resurselor și urmărirea mediului
Apollo	7; 9	1968—1969	Idem
Skylab	1—3	1973—1974	Idem, dar și cu sensor de baleiere
Saliut	1; 3—6	1974—1981	Idem Soiuz
III. Nave spațiale cu obiectivul principal Luna			
Apollo	8; 10—17	1968—1972	Imagini fotografice normale și multi-spectrale obținute de cosmonauți înainte de misiunea selenară
Zond	5—8	1968—1970	Imagini prin fototeleviziune, recuperate la sol, pentru cercetarea globală a Pământului

8.7. UTILIZAREA ÎNREGISTRĂRILOR DE TELEDETECTIE SPAȚIALĂ

Înregistrările de teledetectie spațială asupra Pământului se obțin în mai multe forme: fotografie convențională alb-negru sau color, fotografie neconvențională spectrozonală, fals color sau multispectrală, imagine pe un sistem de afișare (ecranul unui tub cu raze catodice) și imagine depozitată pe bandă magnetică (digitală). Aceste imagini realizate din Cosmos prezintă o serie de caracteristici și avantaje importante și anume: cuprind suprafețe terestre întinse care oferă posibilități de a surprinde caracteristici de ansamblu; se pot realiza în zone inaccesibile, greu accesibile sau ostile omului; în funcție de sensor se pot obține în orice perioadă a zilei sau a anului, nu sînt afectate de acoperirile cu nori; prin înregistrarea spectrozonală sau multispectrală se evidențiază caracteristici inedite ale suprafețelor și fenomenelor; se pot executa cu repetitivitate ridicată, înregistrînd fenomene care evoluează rapid în timp; datele obținute sînt omogene pentru întreaga suprafață; se pot prelucra și interpreta (imaginile digitale) automat, obținîndu-se selecționări și clasificări de caracteristici tematice; se obțin în timp real sau aproape de acesta.

În cazul sateliților Landsat, destinați în exclusivitate pentru cercetarea resurselor naturale ale planetei noastre și urmărirea mediului înconjurător, pentru cei care aplică tehnicile de teledetectie s-au calculat foarte riguros datele de trecere ale sateliților pentru perioade de cîte 10 ani de la lansare (exemplu pentru Landsat în tabelul 8.5). Cercetarea unei zone terestre care prezintă un deosebit interes la un moment dat este cu totul posibilă datorită repetitivității realizării imaginilor. În fotografia 8.6 este prezentată zona Munților Făgăraș.

Clasificarea tematică a înregistrărilor multispectrale digitale este posibilă prin folosirea instalațiilor automate de calcul, prelucrare și trasare (a se vedea fotografia 4.13). În fotografia 8.7 se prezintă clasificarea măsurărilor termice obținută cu un satelit meteorologic la scară globală, planeteră.

Cercetările asupra Pământului cu ajutorul tehnicilor de teledetectie au permis descoperirea de noi resurse, de suprafață sau din subsol, inventarierea și studierea evoluției celor cunoscute, au făcut posibilă urmărirea mediului ambiant și a modului în care omul îl folosește, cartografierea tematică a unor întinse suprafețe terestre.

Tabelul 8.5

Datele de trecere deasupra teritoriului României în anul 1982 pentru satelitul de teledetecție Landsat 2

Luna	Numărul orbitei							
	194	195	196	197	198	199	200	201
Ianuarie	6; 24	7; 25	8; 26	9; 27	10; 28	11; 29	12; 30	13; 31
Februarie	11	12	13	14	15	16	17	18
Martie	1; 19	2; 20	3; 21	4; 22	5; 23	6; 24	7; 25	8; 26
Aprilie	6; 24	7; 25	8; 26	9; 27	10; 28	11; 29	12; 30	13
Mai	12; 30	13; 31	14	15	16	17	18	1; 19
Iunie	17	18	1; 19	2; 20	3; 21	4; 22	5; 23	6; 24
Iulie	5; 23	6; 24	7; 25	8; 26	9; 27	10; 28	11; 29	12; 30
August	10; 28	11; 29	12; 30	13; 31	14	15	16	17
Septembrie	15	16	17	18	1; 19	2; 20	3; 21	4; 22
Octombrie	3; 21	4; 22	5; 23	6; 24	7; 25	8; 26	9; 27	10; 28
Noiembrie	8; 26	9; 27	10; 28	11; 29	12; 30	13	14	15
Decembrie	14	15	16	17	18	1; 19	2; 20	3; 21

9 STUDIUL LUNII

Din cele mai vechi timpuri Luna a fost un corp ceresc care a suscitat un mare interes din partea omului datorită strălucirii sale aparente mari. Fiind a doua în strălucire după Soare, Luna, în lipsa acestuia era primul reper în timp și în spațiu, indicându-i omului partea care s-a scurs din noapte și orientându-l. Recunoscători pentru serviciile aduse dar necunoscînd-o cei vechi au trecut-o în rîndul zeilor.

Vechii eleni, au urmărit-o, ajungînd să stabilească o serie de adevăruri asupra ei. Astfel Anaxagoras (500—428 î.e.n.) știa că Luna cauzează eclipsele de Soare, iar Aristotel (384—322 î.e.n.) a dedus forma rotundă a Pămîntului după forma circulară a umbrei lui pe Lună în timpul eclipsei. Fără să dispună de vreun mijloc de observație decît ochiul său, el a aflat că Luna arată Pămîntului mereu aceeași față.

Aceste adevăruri au fost neglijate un timp, iar Luna a reintrat în misterioasa tagmă a corpurilor cerești — corpuri perfecte, sferice, netede — pînă ce după aproximativ 2 000 de ani Galilei, la 10 ianuarie 1609, și-a îndreptat modesta, dar prima, lunetă spre Lună, pe a cărei suprafață a observat munți și cratere.

Odată cu dezvoltarea mijloacelor de cercetare astronomică s-au descifrat mișcările Lunii, structura feței ei vizibile și compoziția chimică a solului, unele condiții fizice. Un fapt deosebit este dimensiunea mare a Lunii; deși alți cinci dintre cei 41 de sateliți naturali din sistemul solar o depășesc în mărime (trei sateliți ai lui Jupiter, unul al lui Saturn și unul al lui Neptun, care au masele aproape dublu celei lunare), prin dimensiunea sa comparată cu aceea a Pămîntului, este cel mai mare satelit al sistemului solar. Într-adevăr raportul dintre diametrul Lunii și cel al Pămîntului este de $1/3,5$ în timp ce același raport pentru satelitul cu diametrul cel mai mare, Triton și planeta sa, Neptun, este de $1/10$. De aici influența deosebită a Lunii asupra Pămîntului.

Cu începerea erei cosmice prin lansarea primului Sputnik la 4 octombrie 1957 se deschide calea spre Lună; în anul 1959 primele trei nave sovietice intră în spațiul lunar iar la 20 iulie 1969 primii cosmonauți ajung pe Lună cu nava spațială americană Apollo 11. În urma vizitelor repetate ulterior, Luna a devenit prima stație a omului în drumul său în Cosmos.

Luna studiată de cosmonauți și prin stațiile automate depuse pe suprafața ei, își pierde treptat aureola de corp ceresc intangibil. Astronomul o predă spre studiul geologilor, geofizicienilor, păstrându-și doar dreptul de a privi de pe suprafața ei, mai departe, mai adânc în Cosmos.

Părăsind domeniul astronomiei, Luna intră în primul rînd în acela al geografiei, pentru studiul suprafeței sale prin metode terestre, deschizînd un nou capitol, *selenografia*, alături de cel vechi al geografiei.

9.1. MIȘCĂRILE LUNII

Fazele, perioadele sinodică și siderală. Cel mai izbitor fenomen, care se vede mai ușor, este schimbarea continuă a înfățișării Lunii sau fazele ei. Cauza lor a fost cunoscută încă astronomilor caldeeni: Luna, corp obscur, reflectă lumina Soarelui pe jumătate din suprafața sa, după poziția ei față de Pămînt, se vede total sau parțial.

Cînd Luna se află între Pămînt și Soare, avem *Lună nouă*, spre Pămînt fiind fața neluminată, urmează *primul pătrar* cînd Luna se vede ca un semicerc cu convexitatea spre dreapta, cînd Luna se vede ca un disc întreg avem *Lună plină*, după care urmează *ultimul pătrar*, cînd Luna apare ca un semicerc cu convexitatea spre stînga. Aceste faze corespund unghiurilor de 0° , 90° , 180° , 270° pe care le formează direcția Pămînt — Soare, cu direcția Pămînt — Lună.

Se numește *lună sinodică* sau *perioadă sinodică* timpul dintre două apariții ale Lunii noi, adică timpul în care se succed toate fazele Lunii. Este egală cu 29,53059 zile mijlocii. Din cauza excentricității orbitei Lunii și a Pămîntului durata ei poate varia cu 13 ore în cursul unui an (figura 9.1).

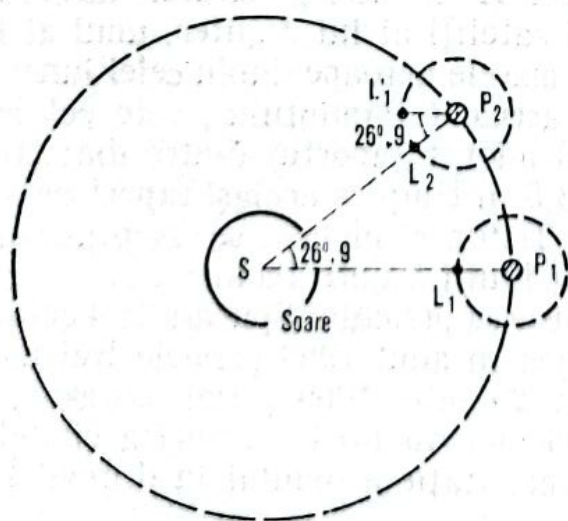


Fig. 9.1. Luna sinodică și Luna siderală.

După Luna nouă, Luna apare ca o seceră subțire, strălucitoare, întregită pînă la discul complet cu partea de culoarea cenușie. Leonardo da Vinci în secolul 15 a dat explicația acestei *lumini cenușii*: este lumina Soarelui reflectată pe suprafața Pămîntului. Ea devine invizibilă pe măsură ce Luna se apropie de faza de primul pătrar, pe măsură ce crește contrastul între cele două părți ale ei.

Mișcarea de revoluție în jurul Pămîntului se efectuează în timpul în care Luna străbate aparent cerul, plecînd de la o stea și ajungînd din nou la aceeași stea, adică 27,32168 zile mijlocii. Aceasta este perioada de revoluție siderală sau *luna siderală*, a cărei variație este de cel mult 7 ore, datorită puternicelor perturbații ale orbitei Lunii.

Se notează cu S luna sinodică, cu T luna siderală și cu A durata anului sideral. Viteza mișcării diurne a Pămîntului fiind $\frac{360^\circ}{A}$, iar a Lunii $\frac{360^\circ}{T}$, viteza diurnă a Lunii față de Pămînt este $\frac{360^\circ}{T} - \frac{360^\circ}{A}$. În timpul de S zile mijlocii, Luna descrie 360° în jurul Pămîntului

$$S\left(\frac{360}{T} - \frac{360}{A}\right) = 360^\circ$$

de unde rezultă ecuația mișcării sinodice

$$\frac{1}{T} - \frac{1}{A} = \frac{1}{S}$$

Cunoscînd din observații perioada sinodică și anul sideral, rezultă perioada siderală $T = \frac{S + A}{SA}$.

Mișcarea de revoluție și de rotație a Lunii. Planul mișcării Lunii în jurul Pămîntului este înclinat față de planul eclipticii cu $i = 5^\circ 8' 43''$, dreapta de intersecție a celor două plane fiind numită linia nodurilor, iar *noduri* numindu-se punctele sferei cerești în care planul orbitei Lunii întîlnește ecliptica. Punctul în care Luna trece prin ecliptică din emisfera sudică în cea nordică se numește *nod ascendent* (Ω). Linia nodurilor retrogradează, descriind o rotație completă în 6 793 zile = 18,6 ani. Pe an se rotește cu $19^\circ 21'$.

Mișcarea de rotație a Lunii este uniformă, avînd perioada sensibil egală cu cea de revoluție siderală. Axa de rotație este înclinată față de planul eclipticii cu $88^\circ 28' 38''$. Din acest motiv se vede mereu aceeași față a Lunii (figura 9.2). Un diametru CD al Lunii este totdeauna îndreptat spre centrul P al Pămîntului, deci față de o direcție fixă AB efectuează o mișcare de rotație.

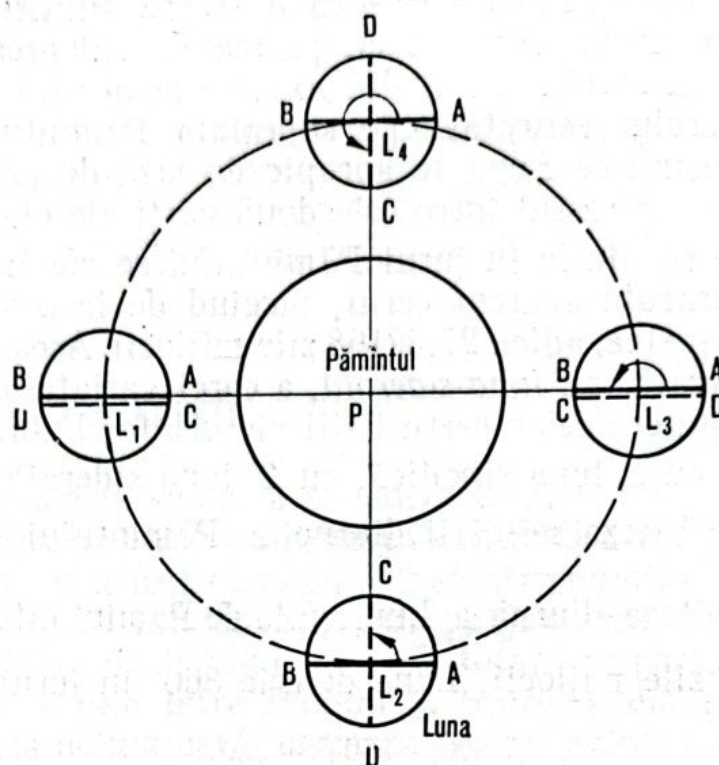


Fig. 9.2. Mișcarea de rotație a Lunii.

Datorită mișcărilor Lunii și a observatorului se poate vedea 59% din suprafața ei, fenomenul numindu-se *librația Lunii*. Față de Pământ librațiile sînt oscilații spre est și vest ale Lunii care nu depășesc 8° , datorită atît nesincronismului perfect dintre mișcarea de rotație și cea de revoluție, ultima fiind neuniformă (librație geometrică), cît și acțiunii gravitaționale a celorlalte corpuri asupra Lunii (librație fizică).

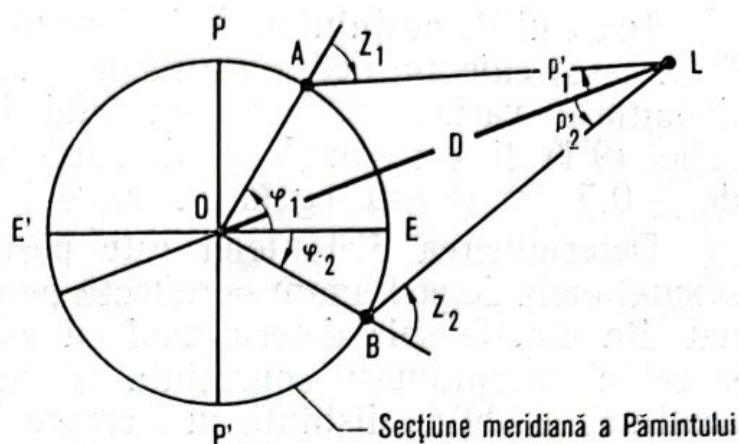
9.2. FORMĂ ȘI DIMENSIUNI

S-au expus în capitolul 6 principiile geometrice ale determinării distanțelor cerești cu ajutorul paralaxei geocentrice (sau diurne) pentru sistemul planetar și a paralaxei anuale pentru stele. Din figura 6.11 rezultă

$$\frac{p}{\Delta} = \frac{\sin p'}{\sin Z'} \quad (9.1)$$

unde p' — este paralaxa unui astru aflat la distanța Δ (de centrul Pământului) și observat ca avînd distanța zenitală Z' din punctul de

Fig. 9.3. Determinarea distanței D a Lunii față de Pământ.



pe suprafața terestră căreia îi corespunde raza geocentrică ρ . Paralaxa orizontală p este legată de cea diurnă p' prin relația

$$p' = p \sin Z. \quad (9.2)$$

În ipoteza Pământului sferic $\rho = a$ (raza terestră ecuatorială), paralaxa orizontală ecuatorială π fiind dată de relația

$$\pi = \frac{a}{\Delta}. \quad (9.3)$$

Pentru determinarea paralaxei orizontale ecuatoriale a Lunii π_c , se consideră doi observatori aflați pe același meridian, în localitățile A și B avînd latitudinile geografice φ_1 , respectiv φ_2 , care la același moment măsoară distanțele zenitale Z_1 și Z_2 ale Lunii. Suma unghiurilor patrulaterului $OALB$ (figura 9.3) este 360°

$$\varphi_1 + \varphi_2 + 180 - Z_1 + p'_1 + p'_2 + 180 - Z_2 = 360^\circ \quad (9.4)$$

unde p'_1 și p'_2 — sînt paralaxele diurne corespunzătoare punctelor de observație A și B . În ipoteza Pământului sferic

$$p'_1 = p_1 \sin Z_1 = \pi_c \sin Z_1$$

$$p'_2 = p_2 \sin Z_2 = \pi_c \sin Z_2$$

și înlocuind în relația 9.4 se obține

$$\varphi_1 + \varphi_2 - Z_1 - Z_2 + \pi_c (\sin Z_1 + \sin Z_2) = 0$$

de unde

$$\pi_c = \frac{Z_1 + Z_2 - \varphi_1 - \varphi_2}{\sin Z_1 + \sin Z_2}. \quad (9.5)$$

În cazul Pământului nesferic, formula pentru π este mai complicată. Pe această cale s-a dedus paralaxa ecuatorială medie a Lunii (întrucât distanța ei variază zi de zi), ca fiind de $57'2''{,}70$, careia, conform relației (9.1) îi corespunde o distanță $\Delta_i = 384\,404$ km, cu o eroare de $\pm 0,5$ km și este egală cu 60,2665 ori raza Pământului.

Determinarea distanțelor este posibilă cu ajutorul radarului: un semnal emis de pe Pământ se reflectă pe suprafața Lunii și este recepționat din nou la sol; determinînd cu mare precizie momentul emiterii și cel al recepționării semnalului și cunoscînd viteza de propagare a acestuia, se obține distanța cu o eroare de 1—2 km.

Cea mai precisă determinare se face cu ajutorul laserilor: un fascicul riguros paralel este reflectat de retroreflectorii depuși de misiunile Apollo, spre exemplu, în puncte cunoscute pe suprafața Lunii. Metoda este de mare precizie permițînd stabilirea distanțelor cu o eroare de ordinul a 10—15 cm, din care cauză măsurările se utilizează și pentru studiul mișcării Lunii. Singurul inconvenient este o incertitudine de ordinul unei milionimi în viteza de propagare a luminii în vid.

Raza Lunii se determină cu ușurință dacă se cunoaște diametrul ei aparent δ (unghiul sub care un observator terestru vede diametrul ei) și distanța Δ . Se constată ușor că

$$R = \Delta \sin \frac{\delta}{2}. \quad (9.6)$$

Diametrul aparent se poate determina prin măsurări micrometrice sau prin trecerea la meridian a discului lunar. S-a găsit $\delta = 31'03''{,}74$ (valoarea medie), care variază puțin datorită excentricității orbitei. Pentru raza Lunii rezultă valoarea $R_c = 1\,737,9$ km $= \frac{3}{11}$ sau 0,2725 raze ecuatoriale terestre. Se deduce suprafața Lunii ca fiind $1/13,46$ din aceea a Pământului, iar volumul este egal cu $1/49,38$ din acela al Pământului.

Forma Lunii este foarte apropiată de aceea a unei sfere, avînd abateri de cîțiva kilometri datorită accidentației formelor de teren ale suprafeței sale, iar rotația lentă dîndu-i o turtire mică imperceptibilă. Din evoluția orbitei primului ei satelit artificial, Luna 10 (lansat de U.R.S.S. la 31 martie 1966), rezultă: o turtire polară, raza polară diferind cu mai puțin de 1 km de cea ecuatorială; o alungire în direcția liniei centrelor Pământ—Lună, așa cum se vede din cele trei secțiuni lunare redată în figura 9.4 (secțiunea ecuatorială a cu direcția OX spre Pământ, secțiunea meridiană b este prin direcția spre Pământ și secțiunea meridiană c este perpendiculară pe direcția spre Pământ). Devierile de la forma circulară sînt mărite de 1 000 ori. Dar acestea sînt deformări mici, de ordinul kilometrilor, sub dimensiunile formelor locale de teren.

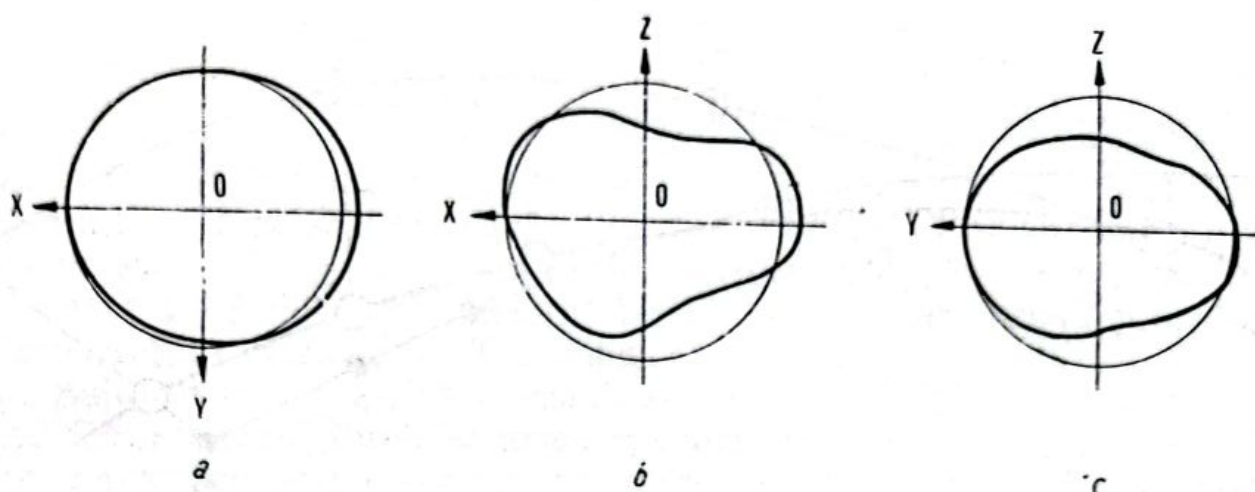


Fig. 9.4. Figura Lunii dedusă din evoluția orbitei sateliților artificiali.

9.3. MASĂ, DENSITATE ȘI ACCELERAȚIA GRAVITAȚIONALĂ

Masa Lunii se poate determina din efectul ei gravitațional asupra orbitei Pământului. Dacă cele două corpuri, Pământul și Luna, ar fi izolate, fiecare sub acțiunea celuilalt ar descrie câte o orbită aproape circulară în jurul centrului de masă comun. Dacă nu ar exista Luna, Pământul și-ar descrie orbita în jurul Soarelui după legile lui Kepler. În realitate, orbita eliptică în jurul Soarelui este descrisă de centrul de masă al sistemului Pământ—Lună (ca și cum ar fi un singur corp) în centru avînd masa egală cu suma celor două mase (figura 9.5). Linia $P_1, P_2, \dots, P_5$ reprezintă mișcarea Pământului, $L_1, L_2, \dots, L_5$ mișcarea Lunii și $G_1, G_2, \dots, G_5$ deplasarea centrului de masă al sistemului Pământ—Lună. Corpurile individuale, Luna și Pământul, au față de Soare mișcări de apropiere și îndepărtare observabile. Mișcarea Lunii față de Pământ se observă, iar mișcarea Pământului se poate constata din mișcarea lunară a corpurilor apropiate, ca aceea a planetelor Venus și Marte, dar în mod special în mișcarea micii planete Eros care se apropie de Pământ pînă la 22×10^6 km. Determinînd poziția centrului de masă, din cunoașterea pe baza observațiilor de mai sus a distanțelor d_δ și d_ϵ la acest punct, raportul maselor va fi

$$\frac{M_\delta}{M_\epsilon} = \frac{d_\epsilon}{d_\delta} = 81,30 \text{ de unde } M_\epsilon = \frac{M_\delta}{81,30}. \quad (9.7)$$

Mai ușor se determină în prezent masa Lunii din studiul mișcării unui satelit artificial în jurul acesteia.

Avînd masa și raza Lunii se poate afla densitatea medie a ei, $\rho_\epsilon = 3,34$ în raport cu apa și 0,606 față de aceea a Pământului, egală cu aceea a rocilor din scoarța terestră.

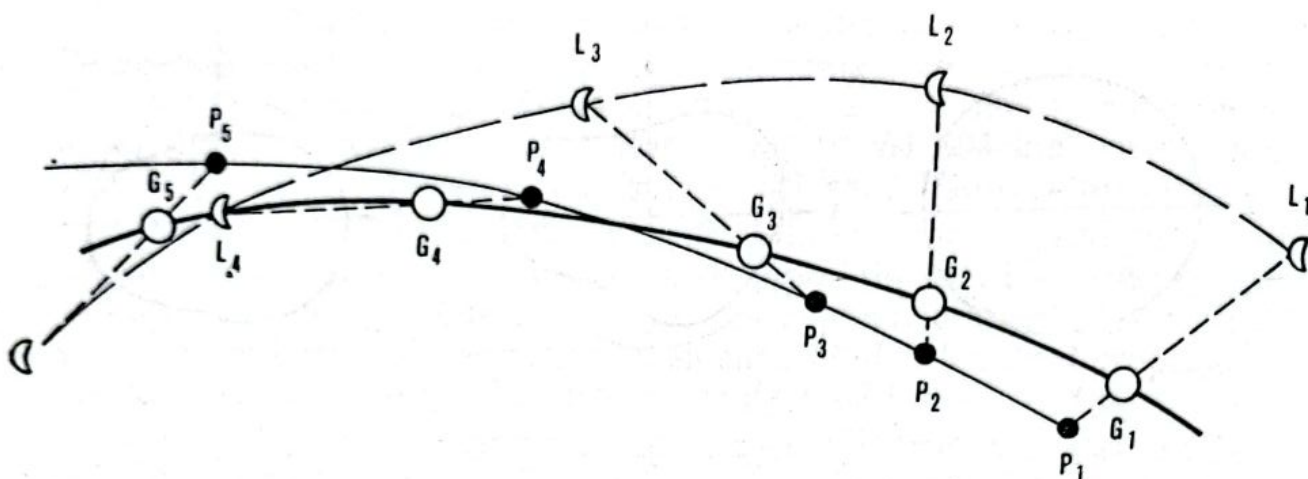


Fig. 9.5. Mișcarea sistemului Pământ-Lună.

Dar studiul mișcării sateliților artificiali ai Lunii din seria Lunar Orbiter (a se vedea punctul 10.1) a pus în evidență existența unor anomalii gravitaționale, datorate unor mari concentrări de mase sub straturile superioare ale scoarței lunare. Denumite masconi (prescurtare de la „mass concentration”), ele se află în general sub mările lunare circulare ca Marea Ploilor, Seninătății, Crizelor, Nectarului etc. și lipsesc sub mările neregulat conturate ca Marea Liniștei, Oceanul Furtunilor etc. Masele masconilor sînt cuprinse între 10^{-5} — 10^{-6} mase lunare, ajungînd în Marea Ploilor pînă la 10^{-4} mase lunare (de ordinul a 10^{16} t). Unii masconi se află pe partea adversă a Lunii în regiunea ei centrală, avînd diametrul de 900—1 000 km.

Asupra originii masconilor există mai multe ipoteze:

Müller și Sögren presupun că masconii sînt alcătuiți din nichel și fier, proveniți din materia meteoritică ce a căzut și s-a îngropat în mările lunare. Dificultatea constă în faptul că este greu de presupus că există materie meteoritică de dimensiuni asteroidale, care să fie formată din nichel și fier.

Hilvari admite că masconii s-au format în legătură cu rocile sedimentare depuse pe fundul mărilor lunare. Presupune că în primul miliard de ani din existența ei, Luna a avut o hidrosferă, după evaporarea căreia au rămas straturile sedimentare avînd o densitate medie de $2,4 \text{ g/cm}^3$. Densitatea mare ar putea proveni din masele suplimentare care își au originea în materia meteoritică de mari dimensiuni căzută pe Lună și care se reorganizează izostazic.

Urey presupune că agentul de bază în formarea suprafeței lunare a fost apa (nu lava din interior). Din imaginile fotografice obținute în cadrul misiunilor Lunar Orbiter rezultă că suprafața Lunii este brăzdată de albiu sinuoase, de „cursuri de apă” lungi pînă la 1 000 km și

largi de câțiva kilometri, care adesea încep din cratere și uneori din marginea mărilor, indicînd legătura lor cu apele subterane. Apa împreună cu alte materii volatile s-a putut elimina din interiorul lunar pe măsura eliberării de energie în urma căderii de meteoriți și a elementelor radioactive, rămînînd în aceste părți elementele grele care au format masconii. Critica acestei ipoteze constă în faptul că ea se bazează pe existența apei în subsolul lunar; unii cercetători admit prezența apei înghețate sau lichide în interiorul Lunii, dar pînă în prezent problema hidrosferei lunare nu a putut fi lămurită.

Baldwin presupune că masconii au rezultat din răcirea lavei revărsată din interiorul Lunii în urma ciocnirii ei cu mari corpuri meteoritice. Lava răcită are densitate mai mare decît materia din jur, de unde apariția masconilor de sub mările circulare.

Accelerația gravitației pe suprafața unei sfere de masă M și rază R , după legea atracției gravitaționale a lui Newton este

$$g = \frac{GM}{R^2}$$

și pentru accelerația lunară g_{L} și cea terestră g_{T}

$$g_{\text{L}} = \frac{GM_{\text{L}}}{R_{\text{L}}^2} = 1,6 \text{ m/s}^2, \quad g_{\text{T}} = \frac{GM_{\text{T}}}{R_{\text{T}}^2} = 9,81 \text{ m/s}^2$$

iar raportul lor este

$$g_{\text{T}}/g_{\text{L}} = \frac{M_{\text{T}}/M_{\text{L}}}{(R_{\text{T}}/R_{\text{L}})^2} \approx 6. \quad (9.8)$$

Deci o persoană avînd greutatea terestră de 72 kg, pe Lună va cîntări numai 12 kg (fapt care explică euforia cosmonauților aflați pe suprafața Lunii).

9.4. ATMOSFERA ȘI CLIMATUL LUNAR. CÎMPUL MAGNETIC

Atmosfera Lunii. Dacă se observă cu luneta suprafața lunară, se constată ușor că Luna nu are o atmosferă detectabilă. Într-adevăr formele de teren observate pe Lună (munți, cratere, piscuri) sînt mult mai crestate (dantelate) decît cele terestre, indicînd lipsa factorilor modelatori (erozivi) care netezesc suprafața Pămîntului. Umbrele munților și craterelor sînt bine delimitate, neavînd loc difuzia luminii ca în prezența atmosferei. Ocultațiile (acoperirile) de stele de către discul Lunii sînt o altă dovadă a acestui fapt. Dispariția stelelor în dosul discului lunar și reapariția lor este instantanee, nu treptată ca în cazul existenței

tei atmosferei. Mai mult, atmosfera ar refracta raza de lumină întârziind momentul începerii ocultației, fapt care nu se observă. Ocultarea Nebuloasei Crabul de către Lună pune în evidență prin observații radio că densitatea atmosferei lunare este foarte mică, neputînd depăși 10^{-12} din cea terestră la nivelul mării. O evidență indirectă a absenței atmosferei lunare este mica viteză de evadare pentru Lună

$$V_e = \sqrt{2G \frac{M_e}{R_e}} = 2,38 \text{ km/s} \quad (9.9)$$

față de $V_e = 11,2 \text{ km/s}$ pentru Pămînt. Deci particulele cu viteze mai mari decît V_e vor scăpa din atmosfera Lunii.

Dar evadarea are loc și în cazul cînd viteza medie a moleculelor este mai mică decît viteza de evadare, deoarece printre ele există molecule cu $V > V_e$ care vor scăpa primele. Pe măsură ce particulele ajung mai departe de centrul corpului atractiv, viteza de evadare devine mai mică, deci posibilitatea de evadare mai mare. Dacă viteza moleculară medie este o treime din viteza de evadare, jumătatea atmosferei se pierde în timp de cîteva săptămîni, iar dacă este egală cu numai o pătrime din viteza de evadare, sînt necesari mii de ani pentru a se pierde jumătatea atmosferei.

În cazul Lunii, a evadat întîi hidrogenul, apoi oxigenul, azotul timp de cîteva luni, apoi celelalte elemente. Neavînd o atmosferă, Luna nu poate avea apă, deoarece prin evaporarea acesteia s-ar forma o atmosferă de vapori, care și ea s-ar pierde în spațiu.

Din cele expuse rezultă că Luna nu poate avea o atmosferă permanentă, dar temporar își poate forma o atmosferă foarte rarefiată. Ea poate proveni din gaze emise de suprafața lunară, din evaporarea meteoriților care ciocnesc suprafața cu viteze cosmice, din produsele de absorbție ale razelor cosmice, din dezagregări radioactive, din emanații de vulcani (probabil) ș.a.

Pentru detectarea urmelor de atmosferă lunară, misiunile Apollo 11, 12, 14, 15, 16, 17 au efectuat experimente științifice și cu aparatele utilizate s-au obținut următoarele rezultate:

— detectorii de ioni supratermici au pus în evidență concentrații detectabile de ioni la răsăritul și apusul Soarelui;

— spectrometrele de masă au detectat azot molecular (probabil de origine vulcanică), argon 40 (provenind din dezagregarea radioactivă a potasiului 40), heliu (din vîntul solar);

— fotografiile în ultraviolet au detectat hidrogenul, evaluîndu-se o concentrare de 50 atomi pe cm^3 .

Concentrația atmosferică este mai mare noaptea decât ziua, când vîntul solar mătură gazele ionizate. Aceste rezultate sînt doar preliminare, cercetarea atmosferei lunare continuîndu-se.

Climatul lunar. Luna avînd o rotație lentă, ziua lunară durează aproximativ 14,5 zile mijlocii (terestre), iar noaptea tot atît. Din măsurările la centrul discului lunar în faza de Lună plină rezultă ziua o temperatură în jur de 130°C , iar la miezul nopții o temperatură de aproximativ -200°C , deci o variație de peste 300°C de la zi la noapte. După apusul Soarelui temperatura pe Lună coboară foarte repede, în numai cîteva ore ajungînd la valoarea ei minimă și aceeași variație rapidă a temperaturii se observă și în timpul eclipselor de Lună. Reiese de aici că întreaga sa energie Luna o primește de la Soare, dar stratul de la suprafață fiind rău conducător de căldură, nu comunică mai departe energia primită, iar în timpul nopții o irosește repede în spațiu. Radiațiile radio ale Lunii, avînd originea în straturi mai adînci, indică la o adîncime de cîteva metri o temperatură constantă de -210°C .

Lumina Lunii fiind practic lumina reflectată a Soarelui, spectrul ei este identic cu al acestuia.

O curiozitate observată în timpul nopții lunare o constituie anomaliiile termice de pe suprafața Lunii, fiind detectate puncte cu temperatura mai ridicată decât în regiunile învecinate. Pe de altă parte s-au aflat puncte de anomalii negative, avînd temperatura mai mică cu $5-10^{\circ}$. Existența lor poate fi explicată prin conductibilitatea diferită a rocilor lunare; punctele calde sînt locuri în care roca iese din sol și nu este acoperită de praf, în timp ce punctele reci sînt formate din roci poroase, de mică densitate, care nu au rezultat din impact.

Cîmpul magnetic lunar. Primele măsurări magnetice efectuate în cadrul misiunilor cosmice Luna (1959) n-au putut pune în evidență vreun cîmp magnetic lunar. Ulterior, în măsurările efectuate de misiunile Apollo, s-a detectat un cîmp magnetic general de aproximativ 5 gamma (reprezentînd a zecea mie parte din intensitatea cîmpului magnetic terestru), produs probabil prin acțiunea dinamo a interiorului lichid.

Surprinzător este faptul că în rocile lunare aduse pe Pămînt a putut fi pusă în evidență o magnetizare remanentă slabă dar apreciabilă, care a fost indusă în timpul solidificării acestor roci cu circa 3,8 miliarde de ani înainte, de un cîmp de cîteva mii de gamma. A avut Luna un nucleu lichid suficient de mare, ori zone locale lichide aproape de suprafață pentru a produce cîmpuri de mii de gamma?

Pentru măsurarea cîmpului magnetic lunar misiunea Apollo 15 a lansat un satelit mic circumlunar care a activat la sfîrșitul lunii mai 1973.

9.5. SUPRAFAȚA ȘI INTERIORUL LUNII

Structura suprafeței și compoziția chimică. Privită cu ochiul liber, Luna plină prezintă pe suprafața ei vizibilă regiuni întinse de culoare cenușie închisă, care ocupă aproximativ 40% din suprafață. Ele nepunându-se vedea bine conturate, au dat frâu liber imaginației omului de a le asemui cu forme terestre. Modesta lunetă a lui Galilei descifrează contururile acestor regiuni, pe care le numește mări (maria în italiană) în opoziție cu regiunile strălucitoare (terra) și demonstrează că suprafața Lunii este accidentată având munți, că regiunile mai întinse sînt relativ netede, în timp ce regiunile mai strălucitoare conțin depresiuni circulare de toate dimensiunile înconjurate de lanțuri de munți.

Marile telescoape terestre au permis, începînd cu secolul 19, studierea suprafeței selenare, efectuîndu-se măsurări de înălțimi, depresiuni, poziții pe suprafața Lunii care, în cazul celor mai bune fotografii, au ajuns la o precizie de o jumătate de kilometru. În fotografia 9.1 se prezintă două înregistrări realizate în anul 1937 cu asemenea mijloace.

Deschiderea erei cosmice, a dus la o adevărată avalanșă de cercetări ale Lunii, ea fiind prima stație în drumul omului în Cosmos. În anul 1959 navele cosmice sovietice Luna 1, 2 și 3 au ajuns în spațiul lunar, ultima obținînd primele fotografii ale feței ascunse. Imaginile fotografice obținute în cadrul programelor americane Ranger, Surveyor, Lunar Orbiter și Apollo, ca și în cele sovietice Luna și Zond, au completat cunoașterea întregii suprafețe selenare. Misiunile Apollo și Lunohod au permis studiul la fața locului a frământatului relief lunar.

Mările lunare lipsite de apă sînt depresiuni de formă circulară, avînd raza de ordinul sutelor de kilometri. Ele se află cu 2—3 kilometri sub nivelul mediu al regiunilor înconjurătoare și suprafața lor aparent netedă prezintă cratere, dealuri, coline și alte forme de mici dimensiuni. Cercetarea amănunțită, în anul 1968, a orbitelor navelor spațiale Lunar Orbiter a pus în evidență existența unor concentrări de masă (masconi) sub pardoseala mărilor de forme și dimensiuni necunoscute.

Restul de 60% din suprafața vizibilă a Lunii este mai strălucitoare, avînd o înălțime cu circa 2 kilometri deasupra nivelului selenar mediu; este acoperită cu forme foarte diferite. Munții selenari aflați în lanțuri în jurul mărilor circulare au înălțimi de kilometri ca Alpii sau Carpații. Cea mai mare înălțime o au Apeninii, de-a lungul Mării Ploilor (fotografia 9.2) avînd 5 km deasupra regiunilor din jur.

Fața ascunsă a Lunii, cum rezultă din fotografiile obținute în cadrul misiunilor spațiale (fotografia 9.3), este lipsită de mări întinse, partea mai întunecată neocupînd nici 1% din suprafață; la distanță ea

ar apărea uniform luminată dar de aproape ca un ansamblu de forme haotice.

Craterele lunare sînt formații circulare de diferite dimensiuni care acoperă toată suprafața Lunii. Cele mai mari au diametrul cu puțin peste o sută de kilometri (Bailly are 130 km și Clavius 120 km — fotografia 9.4), iar cele mai mici fracțiuni de milimetru. Numărul lor crește repede cu micșorarea diametrului: aproximativ, aria acoperită de craterele de un diametru dat este aceeași (adică numărul craterelor este invers proporțional cu pătratul diametrului). Sînt circa 200 000 de cratere cu raza mai mare de 1 km pe toată suprafața selenară. Ele se compun dintr-un inel circular ridicat, în interiorul căruia se află o depresiune netedă cu atît mai adîncă cu cît raza craterului este mai mare.

În jurul craterelor mari se află un număr mare de cratere secundare, la o distanță de cel mult cinci ori raza craterului central și au dimensiunile egale cu 5—10% din această rază.

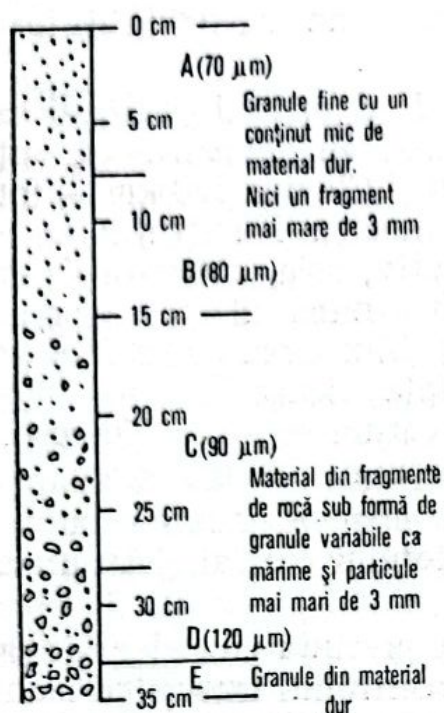
În faza de Lună plină, o serie de cratere prezintă un sistem de raze care pornesc de la crater în toate direcțiile, rectiliniu, traversînd munți, văi și mări, pe întinderi de sute de kilometri (fotografia 9.5). Mai strălucitoare sînt razele craterului Ticho, care au lungimi de peste o mie de kilometri.

Printre formele mari de teren se observă niște linii întunecate și sinuoase, *riurile lunare*. Ele au lungimi de peste 300 km, lărgimea de 3—4 km, adîncimea de 1 km și intersectează atît regiuni muntoase cît și șesuri. Se află în general în vecinătatea mărilor lunare. Descoperirea lor pe fotografiile realizate de sateliții circumlunari (fotografia 9.6) a fost primită cu multă emoție, ele fiind considerate ca urme ale existenței apei în trecut pe suprafața lunară, aridă azi.

O altă formație superficială pusă în evidență de fotografiile misiunilor Apollo sînt lungi *muchii* sau *coaste* existente în Marea Ploilor, Seninătății și platoul Aristarh. Ele s-au format, probabil, în urma comprimării suprafeței, după ce revărsările de lavă au produs scufundarea bazinului mării. Mari curgeri de lavă pot avea loc fie prin fisurile produse în scoarța lunară, fie în urma unui puternic impact meteoritic.

Cum a rezultat din toate misiunile americane Apollo ca și din experiențele sovietice cu automate (Luna 16 și 20, Lunohod 1 și 2), toată suprafața lunară este acoperită cu un strat de *praf* cu grosime variabilă de la cîțiva centimetri pînă la zeci de centimetri (fotografia 9.7). El provine din bombardamentul continuu al rocilor superficiale cu materie meteoritică (în special micrometeoriti), cu particulele vîntului solar, în urma marilor variații de temperatură. Aici sînt incluse toate

Fig. 9.6. Carota materialelor transportate de nava spațială Luna 16.



particulele cu diametrul mai mic de 1 cm, care formează un amestec din fragmente de roci vulcanice, brezii mici și bucăți mici de sticlă de forme și culori diferite. În mare majoritate particulele au diametrul mai mic de 1 mm, iar abundența bucăților de sticlă crește pe măsura reducerii dimensiunilor. Mici alice de fier și nichel par a fi mici meteoriți proveniți din impact cu materie interplanetară.

Din loc în loc apar *stînci* de diferite dimensiuni, dar în unele regiuni acestea lipsesc cu desăvîrșire. Aceste roci sînt formate din granule fine și mai grosolane, suprafața lor prezentînd o mulțime de rupturi provenind din ciocnirile cu micrometeoriți. Altele sînt brezii formate dintr-un conglomerat de roci vulcanice fragmentate și bucățele de sticlă.

Studiul rocilor și prafului lunar s-a făcut prin analiza în laborator a materialului adus de misiunile Apollo care au coborît pe solul lunar, automatele sovietice Luna, ca și prin analizele pe Lună efectuate de Lunohod (figura 9.6). La analiza primelor roci lunare s-a admis că ele se împart în două categorii mari: roci de munte și roci de mări. În prezent însă s-a ajuns la concluzia că rocile care formează munții strălucitori, se găsesc și în subsolul întunecatelor mări lunare. În prezent rocile lunare se împart în patru categorii: bazalturile de tip marin, bazalturile numite Kreep, bogate în potasiu, pămînturi rare și fosfor, bazalturi numite VHA, conținînd 20—24% oxid de aluminiu și roci anortozitice, conținînd mai mult de 24% oxid de aluminiu; rocile din fiecare categorie au origine și evoluție comună.

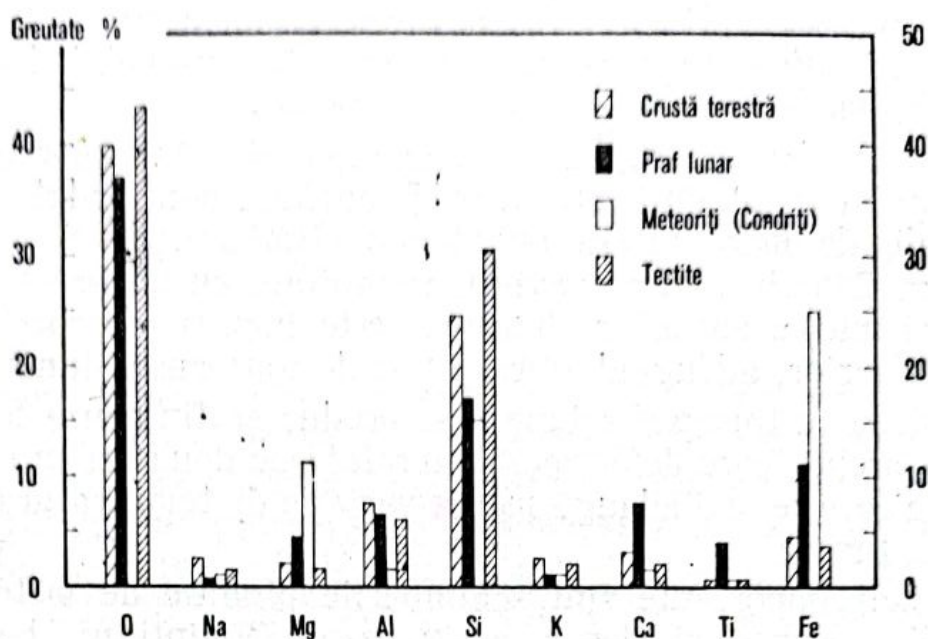


Fig. 9.7. Concentrația elementelor principale a prafului selenar adus de misiunea Apollo 11.

Unii admit că pe Luna încă topită, primul strat, încheat cu 4,6 miliarde de ani înainte, s-a format din cristalizarea rocilor anortozitice. Peste acestea s-au revărsat și solidificat bazalturile VHA și Krep. Apoi bazalturile tip marin topite sub scoarță au ieșit la suprafață în urma marilor impacte cu 3,6—3,9 miliarde de ani înainte.

În comparație cu sistemul solar, materia lunară este de 6,5 ori mai bogată în aluminiu, calciu și titan și de patru ori mai săracă în sodiu, magneziu și fier decât suprafața terestră (figura 9.7). Nu se poate pretinde ca interiorul Lunii să aibă aceeași compoziție chimică, întrucât materia superficială s-a diferențiat de cea din interior, prin alternanța dintre înghețare, retopire și reîncălzire, din trecut.

Radioactivitatea pe Lună este foarte redusă. Compoziția materiei lunare se schimbă foarte încet în urma reacțiilor nucleare (radioactivitatea naturală) și captare de neutroni. Cu ajutorul detectorilor de neutroni s-au captat neutroni din protonii vântului solar. S-au detectat peste 50 neutroni pe cm^2 și secundă. S-a evaluat că o erupție solară varsă 30 milioane protoni de mare energie pe un cm^2 din suprafața Lunii.

Schimbări ale suprafeței. Există schimbări observabile pe veșnic senina suprafață lunară? Desigur ele se detectează cu greu: ar trebui ca detaliile observate astăzi să fie comparate cu desenele lor executate înainte cu secole, care n-ar putea asigura precizia necesară detectării schimbărilor. Unii observatori ai Lunii susțin că au fost martorii unor

schimbări trecătoare. Fotografiiile obținute cu misiunile spațiale Ranger prezintă urme ale rostogolirii unor stînci mari, probabil datorită unor activități seismice.

Analiza rocilor lunare, ca și experiențele de vînt solar confirmă că emisfera luminată a Lunii este în mod continuu bombardată de un flux de particule de mare viteză (400 km/s) eliminate de Soare, formînd *vîntul solar*. Constituit din electroni și protoni, cu un procent redus de particule și nuclee ale altor elemente, este înghițit de rocile și praful lunar din exterior, adăugînd anual 1 000 de tone masei lunare.

Schimbări în topografia lunară se produc și din cauza forțelor mareice ale Soarelui, care deformează suprafața de două ori în fiecare lună sinodică, la care se mai adaugă marea variație de temperatură de la ziua la noaptea lunară.

Mult mai importante sînt schimbările produse de meteoriți care, neîntîlnind o atmosferă densă ca în cazul Pămîntului, bombardează din plin suprafața lunară, formînd cratere și denivelări, pînă la micile rupturi observate pe fețele exterioare ale rocilor lunare. În medie, în fiecare 24 ore cade un meteorit îndeajuns de mare pentru a produce o pîlnie mai largă de o jumătate de metru și zece mii de bucăți care deschid gropi mai largi de 5 cm. Numărul micrometeoritilor (cu dimensiunile de fracțiuni de milimetru) este mult mai mare, adăugîndu-se vîntului solar. Activitatea meteoritică se urmărește și prin seismele înregistrate de stațiile instalate pe Lună de misiunile Apollo. Astfel la 13 mai 1972 a fost înregistrată căderea celui mai mare meteorit din ultimii trei ani de cînd există stații seismice pe Lună, masa lui fiind evaluată la cîteva tone, care a produs un crater cu diametrul de 100 m. Fenomenele tectonice (reșezări de straturi) înregistrate de stațiile seismice pot produce la rîndul lor denivelări ale suprafeței lunare.

Interiorul Lunii. Cunoștințele noastre despre interiorul lunar sînt foarte limitate. Se știe că densitatea medie a Lunii este de $3,3 \text{ g/cm}^3$, deci mult mai mică decît a Pămîntului (egală cu $5,52 \text{ g/cm}^3$) și depășind cu puțin densitatea scoarței terestre (egală cu $3,0 \text{ g/cm}^3$). Densitățile puțin diferite ale rocilor lunare recoltate de cosmonauți (între $2,9$ — $3,4 \text{ g/cm}^3$) sugerează ideea că Luna are aproximativ aceeași densitate în interiorul ei; deci nu poate avea un nucleu metalic foarte dens.

Explorarea interiorului Lunii se face în prezent prin mai multe căi: observații seismice, măsurări de cîmp magnetic, de proprietăți electrice, de gradienti termici și prin cercetarea vibrației fizice a Lunii.

Observațiile seismice selenare sînt obținute prin stațiile instalate de misiunile Apollo 12, 14, 15 și 16, care înregistrează atît cutremurele

de Lună, cât și impactele meteoritice. Aceste două categorii se disting unele de altele prin forma undei înregistrate. Undele care după intervale de timp se repetă, avînd aceeași formă, înseamnă că parcurg pînă la stația respectivă același drum, deci provin de la aceeași sursă; ele reprezintă cutremure lunare. Impactele meteoritice fiind în puncte diferite, undele sînt diferite, avînd formele similare cu acelea produse de impactele artificiale ale treptelor de lansare ale modulelor lunare. S-au înregistrat 3 200 cutremure lunare pe an. Cu ajutorul a trei stații seismice pot fi localizate focarele cutremurelor; s-au detectat 41 zone de cutremure lunare avînd întinderi de cîțiva kilometri și aflate la o adîncime între 600—1 000 km. Ele se produc de regulă atunci cînd Luna se află în zona perigeului și a apogeului orbitei sale. Probabil forța mareică a Pămîntului ușurează producerea cutremurelor. Numărul cutremurelor lunare este cu mult mai mică față de cele terestre; energia lor reprezintă abia 10^{-5} din energia seismică terestră pe unitatea de arie. Deci din punct de vedere seismic, Luna este inactivă.

Din variațiile vitezelor de propagare a undelor seismice se deduc stratificările (variațiile de densitate) din interior. Pînă la 20 km este un strat solid avînd în partea superioară (exterioară) regolith, iar în partea inferioară brecii. Între 25—60 km adîncime stratul solid este format din gabrou lunar. Sub 60 km pînă la 900 km viteza este aproape constantă și indică o structură solidă bogată în granat (netopită). Patru cutremure și un impact meteoritic pe fața opusă a Lunii indică un nucleu lunar semitopit. Dacă admitem că este format din silicați, temperatura sa atinge 1 500°C.

Din înregistrările seismice lunare, se poate deduce masa meteoritului care a produs impactul. Se află că majoritatea lor au masele cuprinse între 0,1—1 000 kg, revenind pe an 1 kg materie meteoritică de 40 000 km², mult mai puțin decît s-a dedus din evaluările terestre. Este greu de crezut, datorită micii densități lunare, că nucleul este din fier. Fierul topit în nucleu ar necesita o temperatură de circa 1 650°C, care ar topi o bună parte din interior, iar dacă fierul ar fi amestecat cu sulf, temperatura sa de topire ar fi de circa 1 000 °C.

Gradientul termic oferă mersul temperaturii cu adîncimea, deci un prețios mijloc de investigare a interiorului. S-a găsit un gradient termic vertical egal cu 1,7°C pe metru, care corespunde unui flux de căldură spre exterior egal cu o treime din cel terestru. La 1 m adîncime temperatura este 252°K deci cu 20° mai înaltă decît temperatura medie la suprafață. Mai departe, la adîncimea de 1 km ar rezulta o temperatură de 1 953°K! Dar marea conductivitate a rocii solide reduce gradientul; totuși se ajunge la o temperatură centrală ridicată.

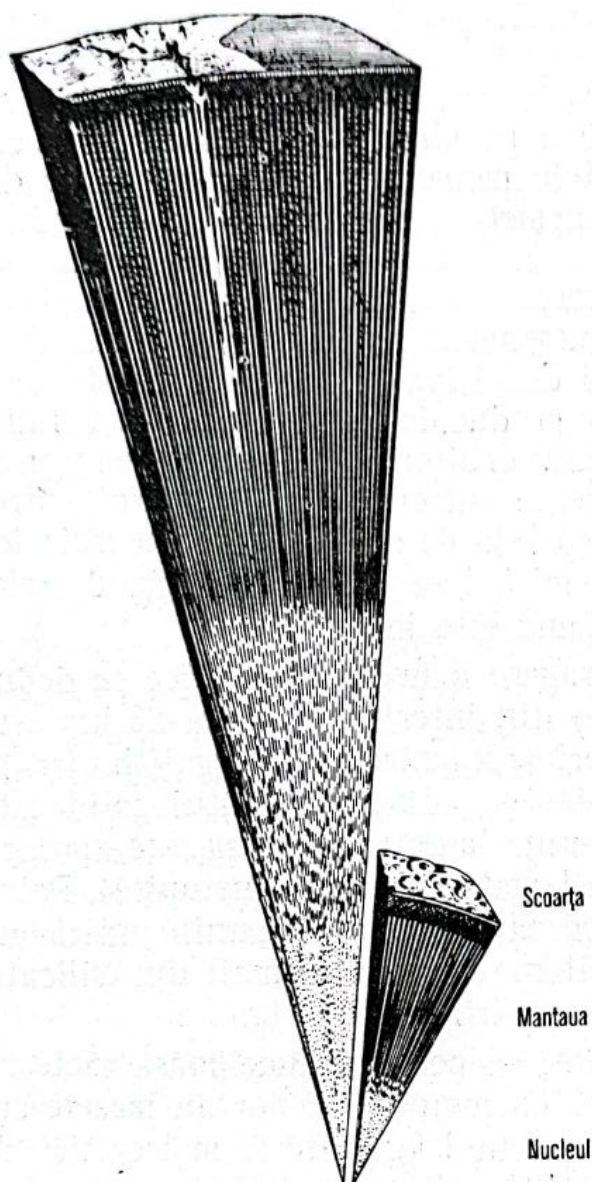


Fig. 9.8. Schema interiorului lunar (dreapta) comparat cu cel al Pământului (stînga).

P ă m î n t u l

L u n a

Suprafața fluidă

Atmosferă întinsă, dinamică, densă. Suprafața lichidă (oceane și mări) cu o densitate aproape constantă, acoperă 71% din suprafața terestră.

Atmosferă extrem de rarefiată, temporară la limita detectabilității (cu densitatea 10^{-12} din cea terestră). Lipsește complet apa (mările și oceanele fiind revărsări de lavă).

Scoarța

Scoarță solidă avînd o grosime medie de 35 km, cu densitate medie de 3 g/cm^3 , formată din roci vulcanice cu mai puține roci sedimentare și metamorfice, componentele principale fiind Si, O și metale. Revărsări de lavă prin fenomene vulcanice.

Scoarță solidă, cu grosimea medie de 60 km, cu densitatea medie de 3 g/cm^3 , formată de la exterior spre interior din regolite, brecii și gabrouri. Prezintă în exterior o suprafață acoperită de cratere și revărsări de lavă. Lipsesc dovezile de existență a fenomenelor vulcanice.

Mantaua

Strat solid, puțin cunoscut cu o grosime de aproape 3 000 km.

Strat solid, puțin cunoscut, cu o grosime de circa 900 km, avînd o temperatură posibilă pînă la $2\,000^\circ\text{C}$ și densitatea medie de 3 g/cm^3 .

Nucleul

Lichid în partea sa exterioară (între 3 500—1 400 km de centru), solid în centru, avînd o rază de 1 400 km, ambele părți formate din Ni și Fe, sau aceeași compoziție ca la suprafață, dar la presiuni mari, densitatea îi crește în centru la 17 g/cm^3 . Temperatura este de ordinul miilor de grade.

Zonă parțial topită, cu o rază de circa 750 km, format numai în parte din Fe, avînd o temperatură de 1 000—1 500°C.

9.6. FORMAREA ȘI EVOLUȚIA LUNII

Formarea Lunii. S-a menționat că, în raport cu corpul său central Pămîntul, Luna este cel mai mare satelit al sistemului solar. Cu diametrul său de 3 475,8 km Luna are dimensiuni planetare (planeta Mercur avînd spre exemplu diametrul de 4 770 km), deci sistemul Pămînt—Lună este ca o planetă dublă și privită de pe Marte sau Venus ar apare ca o planetă albastră strălucitoare, Pămîntul, însoțită de un astru galben de prima magnitudine, care gravitează în jurul ei la o distanță de $1/2$ grade (lungimea diametrului Lunii văzută de pe Pămînt). De aici teoriile asupra formării Lunii, concretizate prin gradul ei de înrudire cu Pămîntul: dacă Luna este fiica, sora sau prizoniera Pămîntului, adică dacă Luna s-a rupt din Pămînt, s-a format concomitent cu acesta, alături de el, sau este un corp ceresc captat de Pămînt în cursa sa milenară?

Ipoteza ruperii Lunii din Pămînt se bazează pe teoria mareelor, teorie pe care și-a clădit ipoteza Darwin. După el, în trecut Pămîntul și Luna au format un singur corp, care se rotea în jurul axei comune cu o perioadă de numai cîteva ore. Din cauza unor fenomene de rezonanță, în urma unei rupturi cu 150 milioane de ani înainte, Luna a format un corp aparte, care s-a îndepărtat mereu pe baza forțelor mareice. Oceanul

Pacific era considerat ca „cicatricea” rămasă în urma acestei rupturi. Jeffreys arată că acțiunea mareelor fiind mult mai lentă, acest proces a necesitat 4 miliarde de ani. Separarea Lunii s-a produs înainte de apariția vieții pe Pământ; altfel marea provocată de Lună ar fi distrus-o odată cu scoarța terestră. Marea solară a produs un transfer al momentului unghiular din rotația Pământului în mișcarea orbitală a lui, de unde o creștere a dimensiunilor orbitei terestre, ca și a anului. Sistemul Pământ—Lună va pierde momentul unghiular și Luna se va apropia treptat de Pământ, pînă ce acțiunea mareică a Pământului o va sfărîma în bucăți, la o distanță de cel puțin 14 500 km (limita Roche). Limita Roche este distanța pentru care forța de coeziune a unui corp este egală cu forța mareică, de distrugere. Ea este dată de formula]

$$d_R = \sqrt[3]{GM_{\oplus}/\pi\rho_c} = 14\,500\text{ km} \quad (9.10)$$

unde $M_{\oplus}$ — este masa Pământului, iar ρ_c — densitatea medie a Lunii. Un corp aflat la distanța $d < d_R$ va fi descompus de acțiunea mareică; deci poate exista ca un corp independent numai cînd $d > d_R$. Este necesar ca Luna să se fi format undeva la o distanță ce depășește limita Roche.

O altă teorie susține că într-un corp gazos inițial, de mari dimensiuni și puțin dens, s-a produs o separare. Din cele două părți s-au format concomitent două corpuri, Pământul și Luna, ca două planete — surori, la o distanță mai mare de 14 500 km. Dar este posibil ca ele să se fi format independent una de alta, undeva în sistemul solar. Cele două corpuri s-au apropiat pînă la limita Roche, apoi s-au îndepărtat pînă la distanța actuală de 384 000 km. Deci Luna, nedetașată din Pământ, are origine comună și proprietăți similare acestuia. În acest caz se explică compoziția chimică diferită, de acord cu densitățile medii: Pământul cuprinde 30% fier, în timp ce Luna conține numai 10—15% fier.

A treia teorie încearcă să explice formarea Lunii pe baza ipotezei captării: Luna, corp format, s-a apropiat de Pământ la un moment dat, cu 1—2 miliarde de ani după formarea sistemului solar. În lipsa altor corpuri mari prin apropiere, a fost „captată” de Pământ care a obligat-o să urmeze o orbită în jurul lui. În baza forțelor mareice, Luna s-a îndepărtat mereu, pînă la dimensiunile actuale ale orbitei sale; aici este greu de înțeles modalitatea captării și rotunjirea orbitei pînă ce aceasta devine aproape circulară. Poate în urma ciocnirilor cu materia meteoritică.

Cînd s-a format Luna? Din analiza radioizotopică a rocilor lunare aduse de misiunile Apollo și Luna rezultă că, după vîrstele lor, rocile lunare se împart în două categorii: roci din regiuni înalte și bazalturi cu vîrsta de 3,95 miliarde de ani și roci din scoarța lunară cu vîrsta de 4,47 miliarde de ani (în medie).

Ce s-a întâmplat pe Lună timp de o jumătate miliard de ani între aceste două vârste? Poate răcirea crustei. Apoi, cu 4 miliarde de ani înainte, a avut loc ruperea scoarței și reîncălzirea ei, urmată de revărsări de lavă timp de aproape 600 milioane de ani. În această perioadă s-au format mărele lunare.

Formarea suprafeței. Norul de materie sau de fragmente care a format mai târziu Luna, a început să se condenseze în propriul său câmp gravitațional. Din comprimare a rezultat o încălzire, poate suficient de mare pentru a topi materia lunară. În urma radierii de energie în spațiu, straturile superficiale s-au solidificat. Formele produse la suprafață de diferite evenimente au rămas nealterate în lipsa factorilor erozivi ca atmosfera, vântul, apa.

Pentru explicarea formării suprafeței lunare, s-au emis două teorii preponderente: teoria impactului și teoria vulcanică.

În prezent se pare că teoria impactului cu materie meteoritică de mari viteze și dimensiuni foarte diferite din spațiul exterior în trecutul îndepărtat al Lunii, este mai mult admisă. Cele mai frecvente forme de explicat sînt craterele lunare, asupra cărora s-au emis mai multe ipoteze. La prima vedere, craterele lunare sînt analoage cu cele vulcanice terestre, dar prezintă o serie de deosebiri în structură și anume: secțiunea lor transversală este la fel cu aceea a craterelor meteoritice și a celor pricinuite de proiectile de artilerie, forma lor fiind mereu circulară; raportul dintre rază și adîncimea lor este întotdeauna mare; volumul materiei inelului ridicat în jurul craterului este egal cu acela al gropii craterului (se compensează); marea majoritate a materiei din părțile ridicate, deplasate de explozie, este de origine lunară. Meteoritul care cade cu o viteză de 10—20 km/s are numai 3% din raza craterului rezultat.

Față de teoria impactului se ridică două obiecții:

— Dacă ea este justă, răspîndirea craterelor lunare trebuie să fie întîmplătoare, or se observă o oarecare dispunere a lor. Dar trebuie să se țină seama că producerea craterelor nu a fost simultană, ci în timp îndelungat. De exemplu, un meteorit cu raza de ordinul zecilor de kilometri, în căderea sa produce un crater larg cu revărsare de lavă care acoperă toate craterele anterioare din zona de impact, dar alte căderi ulterioare mai mici își produc craterele în interiorul celui mare. Astfel în Marea Liniștei s-a determinat prin radioactivitate că, craterele de aici sînt mai tinere, de 3,7 miliarde de ani, în timp ce rocile mai vechi au peste 4,6 miliarde de ani.

— Pămîntul, deși traversează aceleași regiuni în spațiu ca și Luna, nu prezintă cratere largi. Dar suprafața terestră a fost supusă eroziunilor în erele glaciare, ca și prin fenomenele vulcanice, deci actuala sa supra-

față este diferită de cea inițială, în timp ce pe Luna lipsită de atmosferă s-au păstrat formele de la început.

Desigur fenomenele vulcanice pot fi responsabile de micile cratere — în special de cele așezate pe o linie — dar marile cratere și mări sînt de atribuit mai degrabă factorilor externi decît interni.

Se poate încerca — în baza ipotezei impactului — să se reconstituie șirul fenomenelor care pot explica majoritatea formelor de teren ale actualei suprafețe lunare. În trecut în sistemul solar, materia meteoritică era mult mai frecventă, formată din fragmente de diferite raze: de la cîțiva kilometri pînă la cele de ordinul centimetrilor, acestea din urmă fiind mai frecvente. În urma acțiunii gravitaționale a Pămîntului și Lunii, majoritatea lor s-au ciocnit cu suprafețele acestora formînd craterele, iar bucățile mari, explodînd la impact, au format craterele mari și mările.

Cum s-a arătat mai sus, sub scoarța solidă se afla materie fierbinte, topită. Meteoritul de mari dimensiuni a reușit să rupă scoarța solidă producînd revărsări de lavă care au umplut zonele depresionare ale impactului solidificîndu-se în forma rocii vulcanice de culoare închisă, în timp ce el s-a afundat în materia topită formînd un mascon. Astfel s-au format craterele largi Arhimedes, Aristillus, Autolycus și altele, în timp ce Marea Ploilor poate fi explicată numai în urma unor explozii și revărsări de lavă repetate. În regiunile înalte craterele au pardoseala strălucitoare, formată din roci și moloz provenit din impactul cu meteoritul.

Meteorii mai mici, în genere, nu au energia suficientă pentru a rupe scoarța și a produce revărsări de lavă, dar formează cratere mici strălucitoare.

În jurul craterelor mari, aproape circular dispuse față de acestea, se află craterele secundare. Un meteorit de dimensiuni mari, după ce se ciocnește explodează, fragmentele formînd la rîndul lor craterele secundare. Razele observate în jurul unor cratere sînt roiuri de cratere secundare formate de particule granulare fine și de suflul gazelor, care apar în urma exploziei. Se pare că fiecare crater ar trebui să aibă un sistem de raze, dar la o bună parte din ele acesta este șters fiind acoperit de micile impacte ulterioare. Craterul Ticho are sistemul de raze cel mai proeminent, extinzîndu-se pînă la 1 000 km. Vizibilitatea clară a sistemului dovedește formarea sa mai recentă.

Rîurile observate în fotografiile obținute de misiunile selenare pot fi considerate ca rupturi, falii, în aridul sol lunar. Probabil că în vadul lor a curs lavă, un fluid mai viscos care a produs în trecut aceste eroziuni proeminente. Colinele rotunjite observate, ca și alte forme mărunte ale terenului lunar, pot fi puse pe seama fenomenelor vulcanice.

Mai rămîne problema structurii fine a suprafeței lunare. Probele de sol, recoltate de cosmonauți sau automate, conțin mici bulgări de fier-

nichel ca și roci puțin dense, bogate în aluminiu; acestea par să fie fragmente proiectate la mari distanțe de explozia meteoriților pe suprafața lunară; în timp ce o parte din materia meteoritului contribuie la îmbogățirea materiei regiunilor înalte care înconjoară craterul, altă parte, la distanțe mai mari, formează craterele secundare și o mică parte, având viteze mari, produce sistemul de raze, sfârșind în mările lunare. Sferulele și fragmentele mici de sticlă găsite atât în brechiile cât și în praful lunar s-au format tot prin impact. Micrometeoriții cu mari viteze venind din spațiu au topit materia lunară din jurul locului de impact. Prin răcire aceasta a devenit sticloasă (proces de vitrificare) și sfărâmată ulterior de bombardamente exterioare a format fragmentele detectate de sticlă.

O altă problemă este aceea a formării suprafeței, complexe și acoperită cu sfărâmături, a mărilor lunare. Acest strat de câțiva metri are la bază un strat compact de lavă. La revărsarea lui, stratul de lavă de la suprafață a fost compact și neted. Dar micrometeoriții în mare număr, izbindu-l, au început să-l deniveleze și să-l fragmenteze, încât după un miliard de ani s-a acoperit cu un strat de sfărâmături gros de un milimetru. Procesul de fărâmițare în adâncime s-a continuat într-un ritm foarte lent, deoarece numărul meteoriților mari, cu energie mare, este tot mai mic. Au fost necesare câteva miliarde de ani pentru formarea stratului de câțiva centimetri, fapt confirmat de rocile aduse de misiunile Apollo 11 și 12, a căror vîrstă astfel dedusă este în concordanță cu vîrsta dedusă prin metodele radioactive.

Praful lunar care acoperă frământata suprafață a Lunii, formează un strat mai gros, pînă la un metru, în regiunile înalte și vechi și pînă la câțiva centimetri în rest. S-a format prin fărâmițarea și pulverizarea stratului superficial, ca urmare a bombardării lui frecvente cu materia meteoritică și particulele de vînt solar.

9.7. COORDONATE SELENOGRAFICE ȘI REȚEAUA CARTOGRAFICĂ

Coordonate selenografice. Pentru stabilirea poziției punctelor pe suprafața Lunii, în vederea întocmirii hărților lunare, s-au adoptat coordonatele selenografice. În figura 9.9 cercul P, qP', q' cu centrul în L reprezintă planul unui meridian lunar, P, P' axa polilor lunari, cercul mare qq' ecuatorul lunar, toate cercurile mari care trec prin cei doi poli sînt meridianele selenare, iar ca meridian de origine s-a ales meridianul P, O_0 . Notînd cu Ω punctul de intersecție al ecuatorului lunar cu planul eclipticii, rezultă că

$$\Delta = l_c - \Omega \quad (9.11)$$

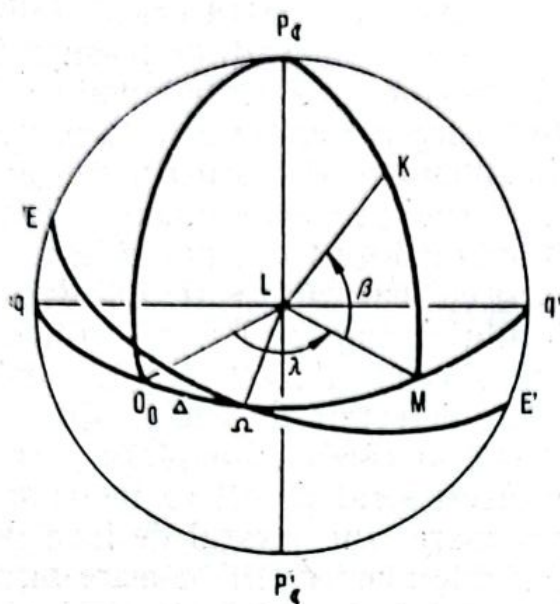


Fig. 9.9. Sistemul de coordonate selenografice.

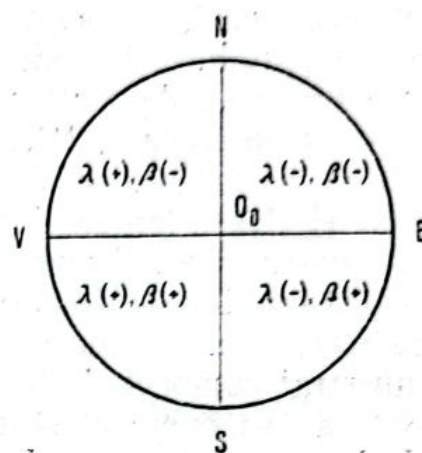


Fig. 9.10. Semnele coordonatelor selenografice.

unde Δ — este distanța unghiulară a meridianului zero față de punctul Ω , iar l_c este longitudinea medie. Mărimile l_c și Ω se extrag din anuare astronomice.

Raza Lunii LO_0 , se numește „rază inițială”. Considerînd pe suprafața Lunii un punct K și meridianul acestui punct care intersectează ecuatorul lunar în punctul M , unghiul MLK se numește *latitudine selenografică (selenară)* β , care se măsoară spre nord și spre sud de ecuator, de la 0° la $\pm 90^\circ$ (spre N pozitivă, spre S negativă).

Unghiul O_0LM format de meridianul zero și meridianul punctului K este *longitudinea selenografică (selenară)* λ . Față de meridianul zero și longitudinile se măsoară pînă la $\pm 90^\circ$ spre est (negativă) și spre vest (pozitivă), pentru fața vizibilă a Lunii (figura 9.10); întrucît zborurile cosmice și aselenizările au permis cunoscerea și a părții invizibile, măsurarea longitudinilor se face față de meridianul zero, de la 0° — 360° , în sensul rotației Lunii.

Rețeaua cartografică. Pentru construirea hărților Lunii s-a adoptat sistemul ortografic, în poziție polară sau ecuatorială, sistem perspectiv, cu punctul de vedere la infinit (a se vedea capitolul 5).

Întrucît axa de rotație a Lunii este aproximativ perpendiculară pe planul orbitei sale, reprezentarea suprafeței lunare într-un canevaz ortografic ecuatorial este redată ca și cînd ar fi privită de pe Pămînt.

Dacă se consideră un sistem de axe rectangulare în care axa $O\xi$ se află în planul ecuatorului și axa $O\eta$ în planul meridianului zero, atunci

coordonatele unui punct oarecare din canevas (ξ, η) se pot exprima în funcție de coordonatele selenografice λ și β prin ecuațiile

$$\begin{cases} \xi = R \cos \beta \sin \lambda \\ \eta = R \sin \beta \end{cases} \quad (9.12)$$

unde R — este raza Lunii. Eliminând în relația 9.12 latitudinea β , se obține ecuația meridianelor

$$\frac{\xi^2}{(R \sin \lambda)^2} + \frac{\eta^2}{R^2} = 1. \quad (9.13)$$

Meridianele apar deci ca elipse, cu axa mare R și axele mici $R \sin \lambda$. Ecuația paralelelor va fi

$$\eta = R \sin \beta \quad (9.14)$$

paralelele fiind linii drepte, paralele cu ecuatorul proiecției, la o distanță egală cu $R \sin \beta$.

În proiecția ortografică se păstrează nedeformate numai lungimea paralelelor; atât contururile cât și suprafețele sînt deformate, pe măsură ce ne depărtăm de centrul sistemului de proiecție.

Pentru reprezentarea zonelor periferice ale Lunii se utilizează canevasul ortografic în poziție polară, luîndu-se ca centru al proiecției punctul de intersecție a suprafeței lunare cu dreapta care unește centrul Lunii și al Pămîntului în momentul librației medii.

Coordonatele fizice ale Lunii. Prin modificarea poziției meridianului zero al discului lunar, datorită librației, se schimbă și orientarea rețelei cartografice. Influența librației optice se manifestă prin deplasarea ușoară a punctelor pe discul vizibil lunar. Pentru a calcula librația optică se ia ca punct fix O_0 , care corespunde centrului discului lunar în momentul cînd acesta se găsește în poziție sincronă pe linia absidelor și în punctul orbitei sale. În oricare altă poziție a Lunii pe orbită, punctul O_0 se va afla la o anumită distanță unghiulară față de centrul discului vizibil O_c (figura 9.11).

Poziția centrului O_c față de O_0 , va defini librația optică, astfel: — longitudinea selenografică l' — librația optică în longitudine; — latitudinea selenografică b' — librația optică în latitudine.

Tot datorită fenomenului librației se modifică și poziția axei lunare, prin unghiul C , dintre direcția spre polul lunar P_c și direcția spre polul terestru P . În figura 9.11 semnul acestui unghi este negativ, întrucît se măsoară spre vest față de meridianul central $P_c O_c$.

Valorile unghiulare l' , b' și C prin care se determină poziția meridianului zero și a ecuatorului lunar sînt cunoscute sub numele de *coordoanate fizice ale Lunii*.

Din triunghiul sferic $\gamma\Omega E$, ale cărui unghiuri sînt ε , I (încalinarea ecu-
atorului lunar față de ecliptică) și $180^\circ - i$, se poate scrie

$$\left. \begin{aligned} \cos i &= \cos I \cos \varepsilon + \sin I \sin \varepsilon \cos \Omega \\ \sin \Omega' &= \sin \Omega \operatorname{cosec} i \sin I \\ \sin \Delta &= \sin \Omega \operatorname{cosec} i \sin \varepsilon. \end{aligned} \right| \quad (9.15)$$

Formulele de calcul pentru coordonatele fizice l' , b' și C se deduc din
triunghiul $P_\epsilon PO_\epsilon$ unde laturile $P_\epsilon O_\epsilon = 90^\circ - b'$ și $P_\epsilon P = i$. Pentru la-
tura a treia a triunghiului, se au în vedere coordonatele geocentrice ale
Lunii, δ_ϵ și α_ϵ , de unde se deduc pentru coordonatele selenografice ($\alpha_\epsilon +$
 $+ 180^\circ$) și $-\delta_\epsilon$; de aceea $PO_\epsilon = 90^\circ + \delta_\epsilon$.

Prin rezolvarea acestui triunghi, se obțin formulele de calcul pen-
tru coordonatele fizice ale Lunii.

$$\left. \begin{aligned} \sin b' &= -\sin \delta_\epsilon \cos i + \cos \delta_\epsilon \sin i \sin(\alpha_\epsilon - \Omega) \\ \cos b' \sin [l' + (l_\epsilon - \Omega) + \Delta] &= -\sin i \sin \delta_\epsilon - \\ &\quad - \cos i \cos \delta_\epsilon \sin(\alpha_\epsilon - \Omega') \\ \cos b' \cos [l' + (l_\epsilon - \lambda) + \Delta] &= -\cos(\alpha_\epsilon - \Omega') \cos \delta_\epsilon \end{aligned} \right| \quad (9.16)$$

din care se pot extrage valorile l' și b' ; unghiul C se determină printr-una
din formulele

$$\left. \begin{aligned} \sin C \cos b' &= -\sin i \cos(\alpha_\epsilon + \Omega') \\ \sin C \cos \delta_\epsilon &= \sin i \cos(l' + \Delta + l_\epsilon - \Omega). \end{aligned} \right| \quad (9.17)$$

Metode de determinare a coordonatelor selenografice. Poziția dife-
ritelor puncte pe suprafața Lunii se obține prin măsurarea coordonatelor
lor polare: distanța σ și unghiul de poziție π , față de centrul discului
lunar.

Considerînd un sistem de axe rectangulare cu centrul în O_ϵ , coor-
datele unui punct necunoscut M se află prin măsurarea distanțelor a și b ,
de la acest punct pînă la periferia discului luminat al Lunii (figura 9.13).

Dacă din raza vizibilă a Lunii R' se scad valorile a și b , se obțin coor-
datele rectangulare ale punctului M

$$\left. \begin{aligned} x &= R'_\epsilon - a \\ y &= R'_\epsilon - b \end{aligned} \right| \quad (9.18)$$

iar în funcție de coordonatele rectangulare, se pot afla coordonatele po-
lare

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} \pi &= \frac{x}{y} \\ \sigma &= y \sec \pi. \end{aligned} \right| \quad (9.19)$$

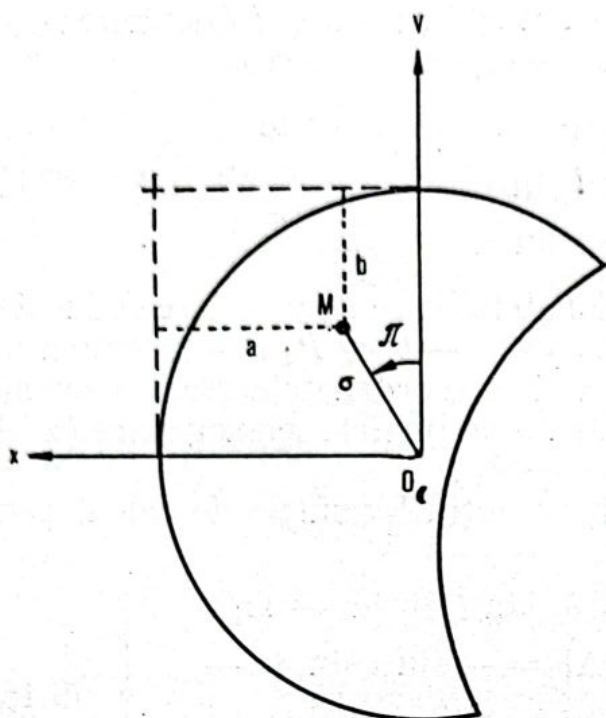


Fig. 9.13. Determinarea coordonatelor de detaliu ale Lunii.

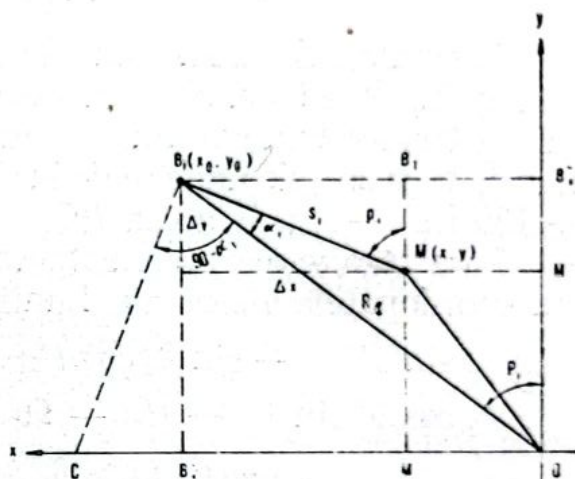


Fig. 9.14. Măsurarea coordonatelor selenografice cu ajutorul punctelor de ordinul I.

Pentru a calcula cu o mai mare precizie poziția unor detalii pe suprafața Lunii, la un crater de exemplu, se determină diferențele Δx și Δy față de un punct de coordonate x_0 și y_0 de pe marginea discului lunar. În această situație se măsoară distanța s_i și unghiurile de poziție P_i ale punctelor B_i (figura 9.14).

Ecuția prin care se pot determina diferențele Δx și Δy , are forma (din proiecția conturului $B_i B_1 M B_i$ pe direcția $O B_i$)

$$\sin P_i \Delta x + \cos P_i \Delta y - \Delta R'_c = (s_0 - s_i) \cos \alpha_i \quad (9.20)$$

unde $P_i = p_i - \alpha_i$ este unghiul de poziție al punctelor periferice ale Lunii, care au o poziție relativă față de centrul discului lunar (R'_c, P_i), s_0 — distanța calculată de la punctul M pînă la periferie, s_i — distanța măsurată și $\Delta R'_c$ — corecția mărimii din efemeride a razei Lunii. Unghiul α_i se poate calcula cu formula (proiectînd conturul $O B_i B_1 O$ pe direcția $B_i C$)

$$\sin \alpha_i = \frac{1}{R'_c} (x_0 \cos p_i - y_0 \sin p_i). \quad (9.21)$$

Coordonatele rectangulare x și y , se obțin cu relația

$$\begin{cases} x = x_0 - \Delta x \\ y = y_0 - \Delta y \end{cases} \quad (9.22)$$

Această metodă de determinare a coordonatelor, numită *metoda absolută*, cere un volum mare de calcule și reduceri; de aceea ea se aplică la un număr mic de cratere care în prezent se consideră ca puncte de sprijin, numite și puncte fundamentale „de ordinul I”. Pentru a întocmi însă un catalog al craterelor care cere determinarea unui număr mare de puncte, se folosesc *metode relative*.

În lucrările de cartografie lunară, coordonatele selenografice se obțin prin transformarea coordonatelor măsurate în coordonate ortografice. Legătura între cele două categorii de coordonate reprezintă o funcție liniară

$$\begin{cases} \xi = ax + by + c \\ \eta = a'x + b'y + c' \end{cases} \quad (9.23)$$

Coeficienții acestor transformări liniare se pot determina cu ajutorul a trei cratere apropiate care se iau în așa fel încât triunghiul format de cele trei puncte să acopere întreaga suprafață măsurată. Dacă în apropiere se află puncte cunoscute, pentru acestea erorile vor fi

$$\begin{cases} \Delta\xi = \xi - \xi_1 \\ \Delta\eta = \eta - \eta_1 \end{cases} \quad (9.24)$$

unde ξ_1 și η_1 — sînt coordonatele ortografice calculate, iar ξ și η sînt coordonatele calculate după valorile din catalog ale lui λ și β . Aceste diferențe (erori) apar drept corecții empirice pentru punctele apropiate ale rețelei.

Pentru a obține corecțiile oricărui punct intermediar, astronomul englez Arthur propune o metodă grafică de interpolare ca în figura 9.15*, unde s-au construit izoliniile corecțiilor pentru $\Delta\xi$.

Valorile ξ_1 și η_1 se obțin cu ajutorul corecțiilor $\Delta\xi$ și $\Delta\eta$ extrase de pe grafic; în acest caz, coordonatele ortografice ale punctelor vor fi

$$\begin{cases} \xi = \xi_1 + \Delta\xi \\ \eta = \eta_1 + \Delta\eta \end{cases} \quad (9.25)$$

Coordonatele ortografice se pot transforma în coordonate selenografice folosind relația 9.12.

Coordonatele selenografice se pot determina și prin observații de stele, cunoscînd poziția acestora față de ecuatorul lunar. Pentru aceasta se consideră steaua S , care are *declinația* d și *ascensiunea dreaptă* a (figura

* Harta cu izoliniile a apărut în *Atlasul lunar* al Societății belgiene de astronomie.

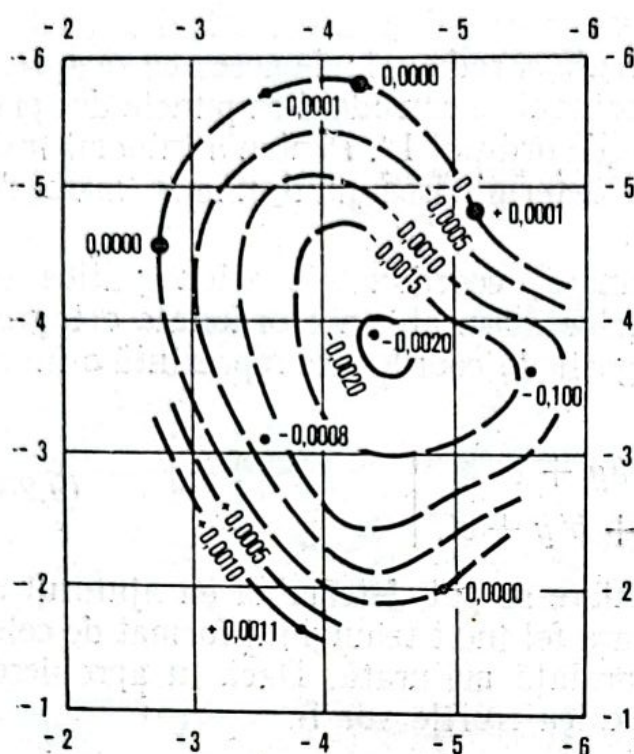


Fig. 9.15. Metoda grafică de interpolare a coordonatelor selenografice.

9.16). Din triunghiul selenocentric $P_c P_e S$, unde P_c — este polul Lunii, P_e — polul eclipticii, se pot scrie formulele

$$\begin{aligned} \sin d &= \sin b_* \cos I + \cos b_* \sin I \sin (l_* - \Omega) \\ \cos d \sin a &= \sin b_* \sin I - \cos b_* \cos I \sin (l_* - \Omega) \\ \cos d \cos a &= -\cos b_* \cos (l_* - \Omega) \end{aligned} \quad (9.26)$$

unde b_* și l_* — sînt coordonatele ecliptice ale steii și I — unghiul de înclinare al ecuatorului lunar față de ecliptică ($1^\circ 32'$).

După determinarea declinației și ascensiei drepte, se pot calcula coordonatele selenografice, cunoscînd înălțimea h a cel puțin două stele. Din triunghiul sferic $P_c Z S$, unde Z este zenitul (figura 9.17), se poate scrie

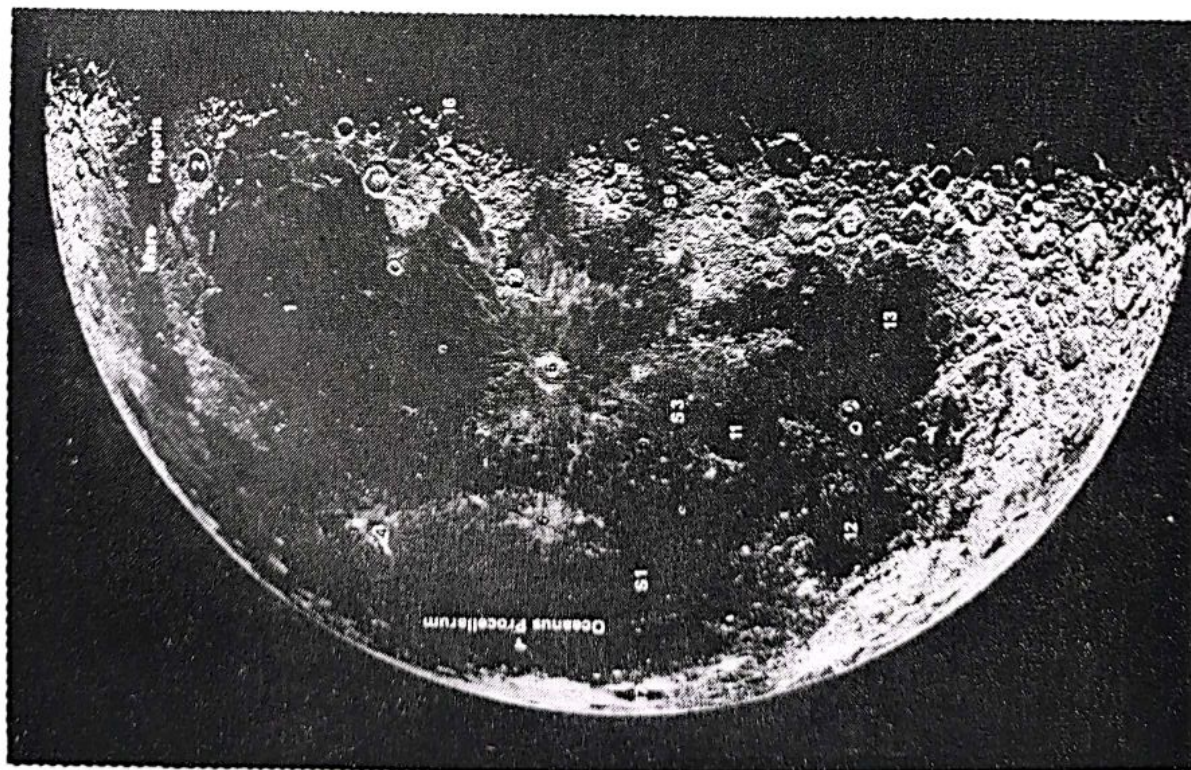
$$\sin h = \sin \beta \sin d + \cos \beta \cos d \cos t. \quad (9.27)$$

Întrucît unghiul t este

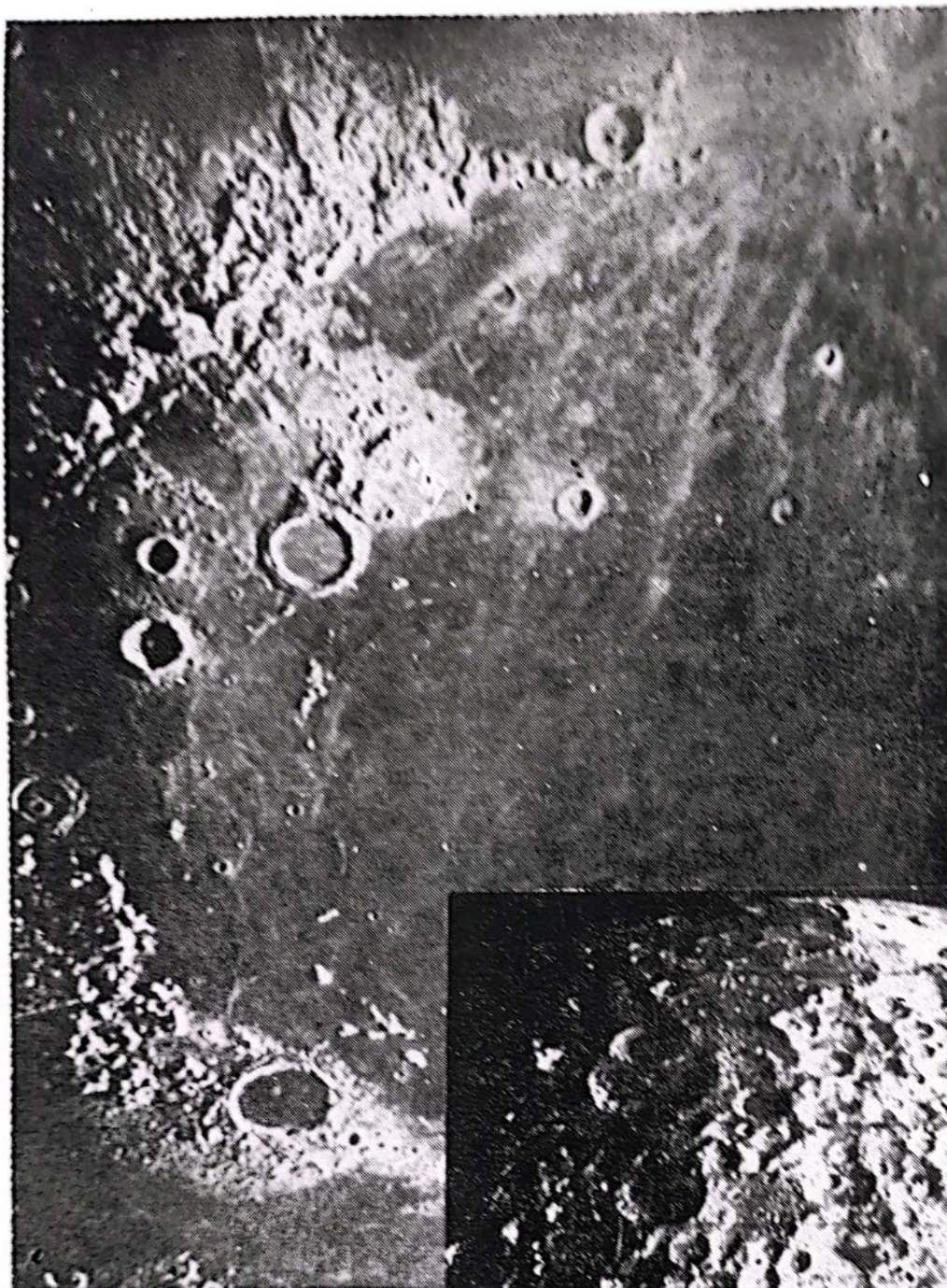
$$t = \lambda - [(l_c - \Omega) + a] = \lambda - (\Delta + a) \quad (9.28)$$

se obține

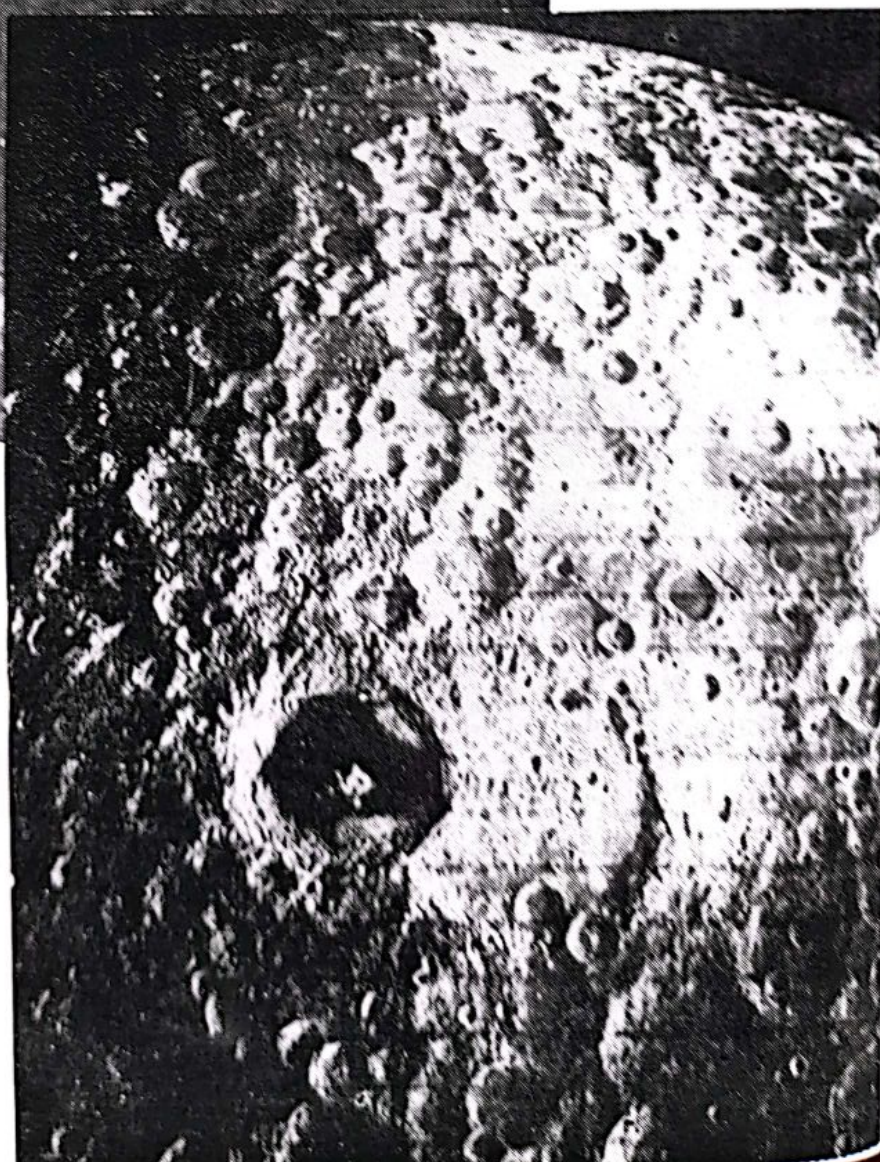
$$\begin{aligned} \sin h &= \sin d \sin \beta + \cos (\Delta + a) \cos d \cos \beta \cos \lambda + \\ &+ \sin (\Delta + a) \cos d \cos \beta \sin \lambda. \end{aligned} \quad (9.29)$$



9.1. Fața vizibilă a Lunii înregistrată de pe Pământ, în anul 1937, cu ajutorul unui telescop (în stînga Luna la primul pătrar, în dreapta la ultimul pătrar).



9.2. Marea Ploilor, limitată
de Munții Apenini și
Munții Alpi.



9.3. Craterul Tsiolkovski
de pe fața ascunsă a Lunii
(imagine obținută de Lu-
nar Orbiter 3).



9.4. Craterul Clavius.

9.5. Craterul Copernicus.

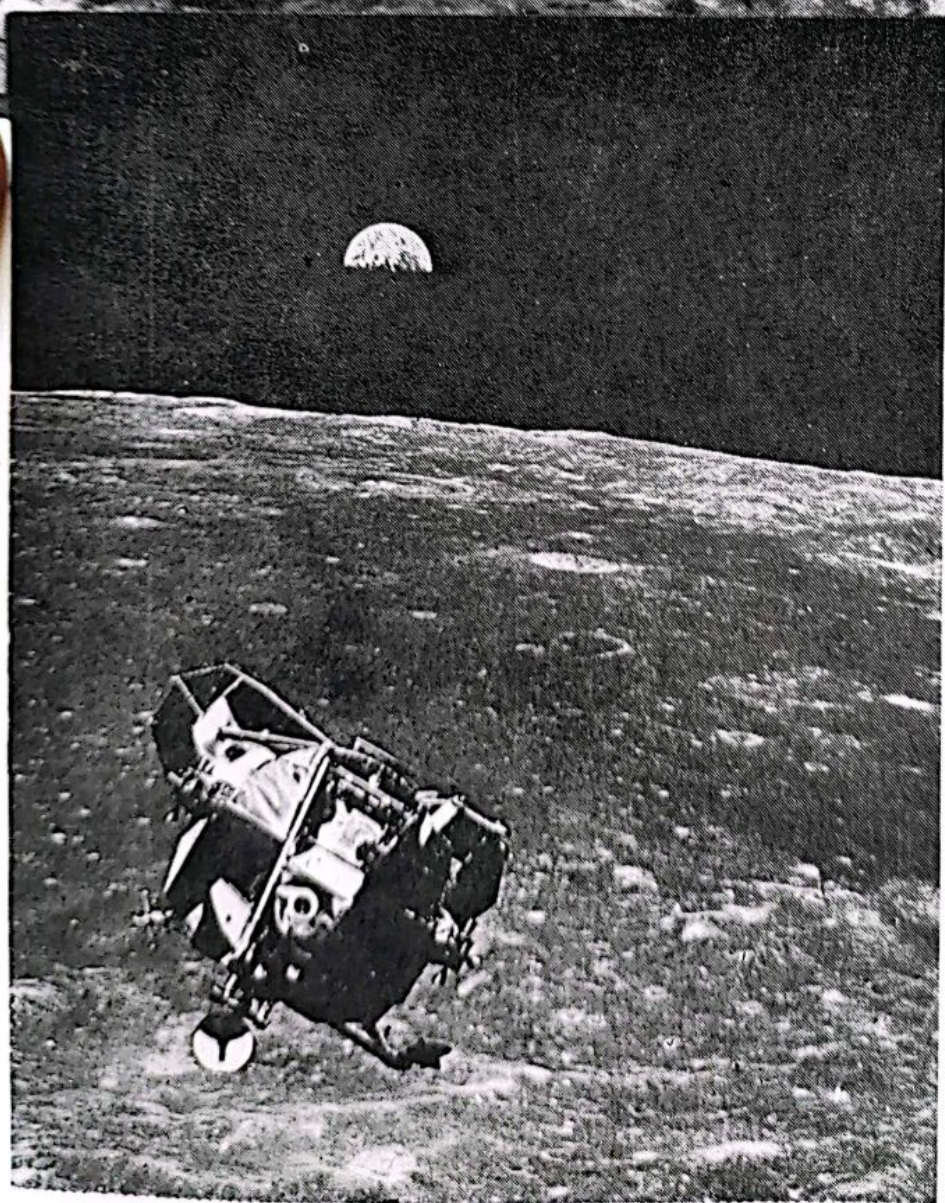
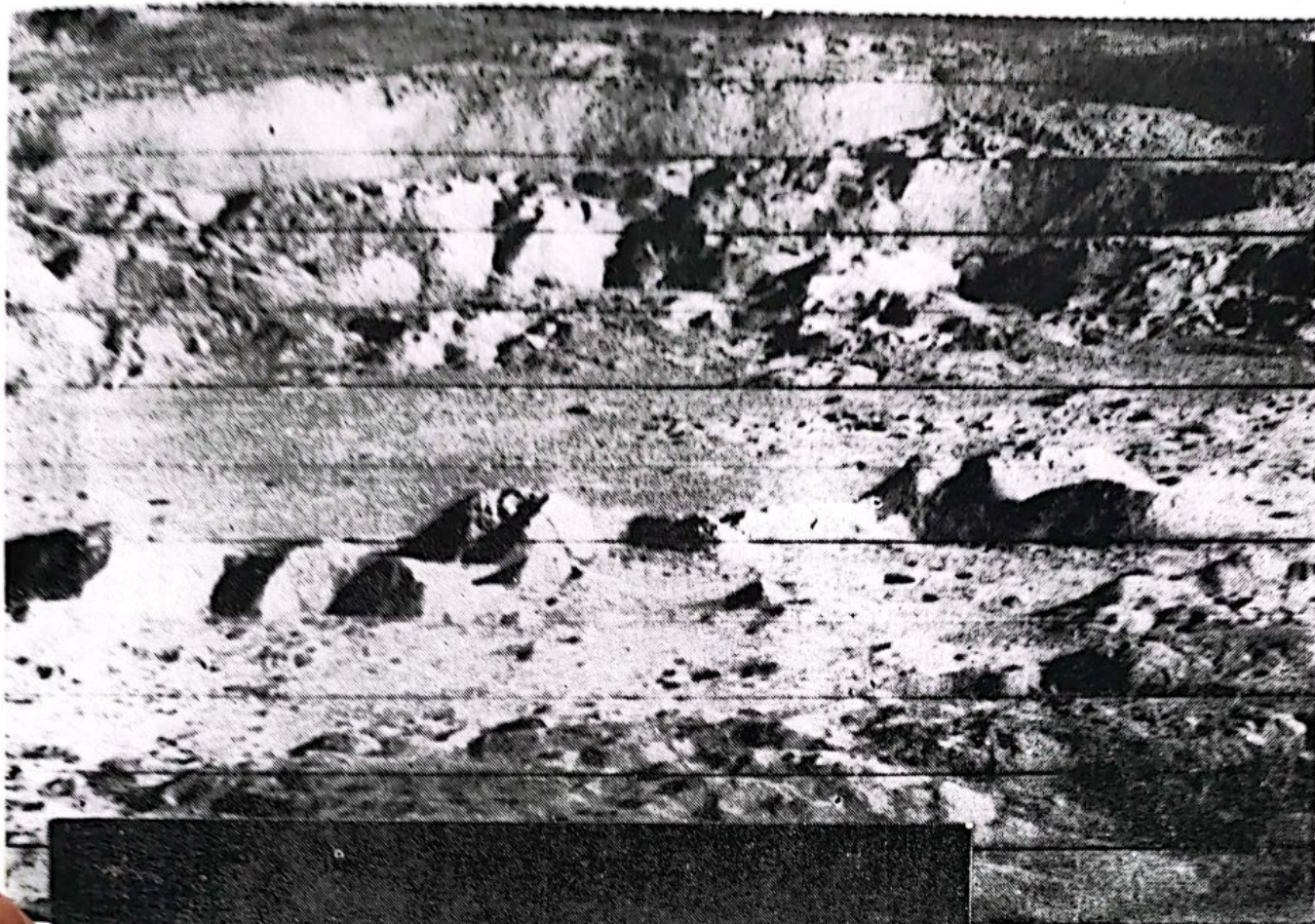




9.6. Rîuri lunare,

9.7. Praful
lunar văzut
la micro-
scop (parti-
cule din sol,
sferule de
sticlă).





10.1. Imagine panoramică obținută din Lunar Orbiter 2 în zona craterului Copernicus (noiembrie 1966).

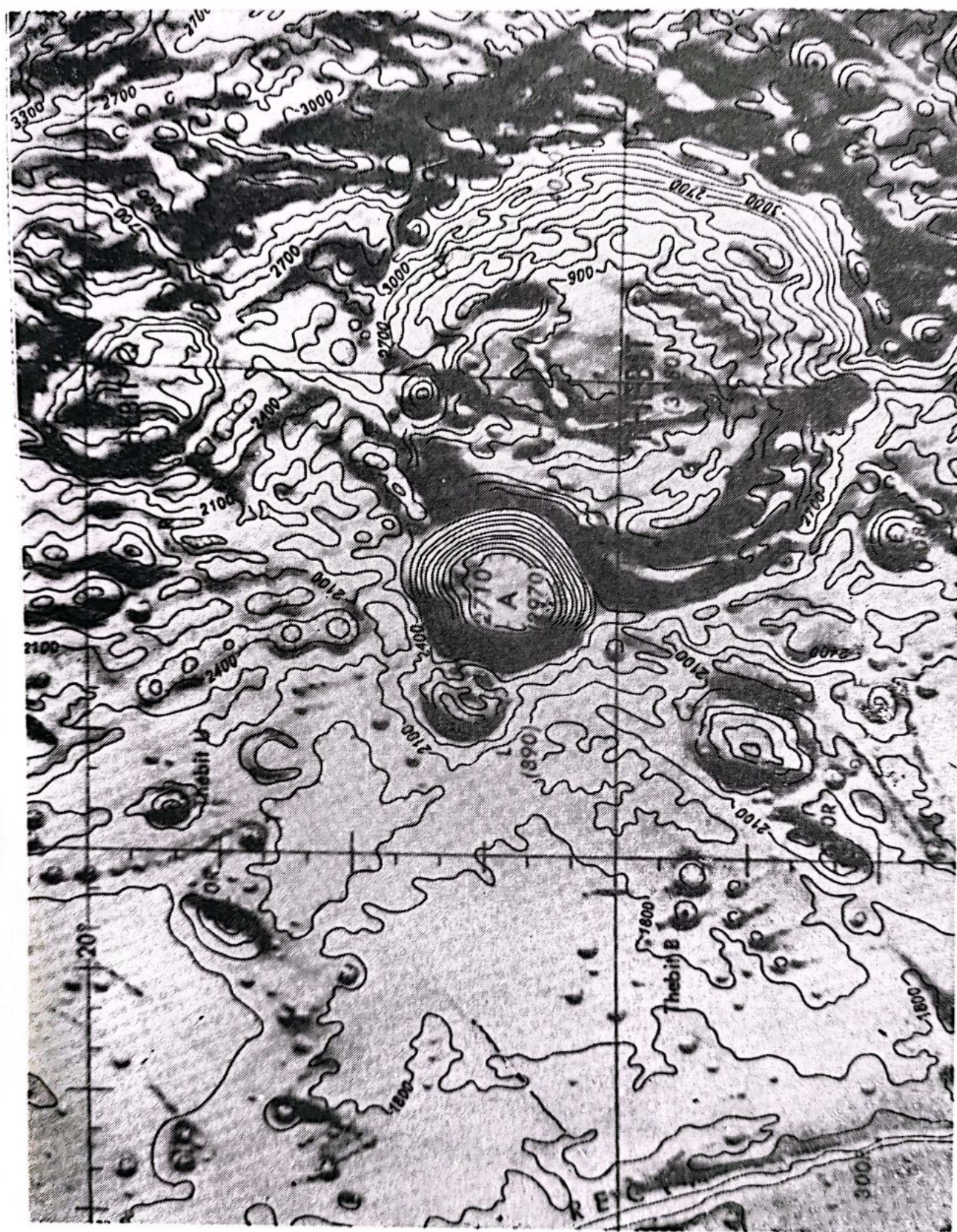
10.2. Fotografie realizată de nava spațială aflată pe orbită circumlunară în cadrul unei misiuni Apollo (modulul lunar în timpul coborîrii pe suprafața Lunii și Pământul deasupra orizontului).



10.3. Imagine a solului selenar obținută din modulul navei spațiale Apollo 10 aflată pe orbită proprie (10 mai 1969).



10.4. Imagine fotografică panoramică a solului selenar obținută în timpul misiunii Apollo 17 (10 decembrie 1972).



10.5. Fotoharta unei porțiuni din suprafața selenară executată cu mijloace fotogrammetrice (echidistanța curbelor 300 m).

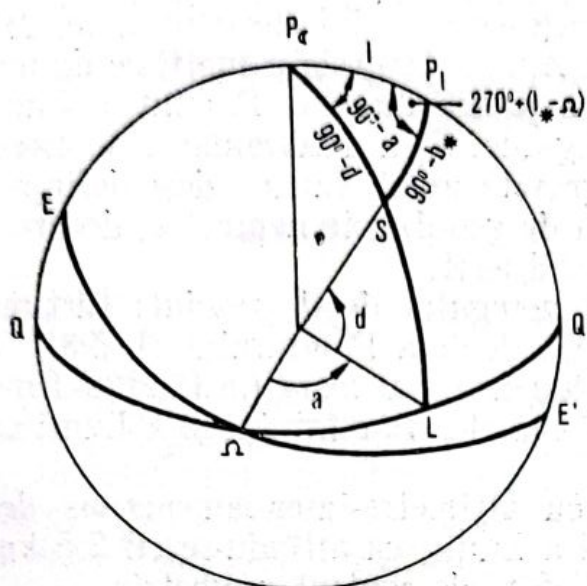


Fig. 9.16. Sistemul de coordonate ecuatoriale ale Lunii.

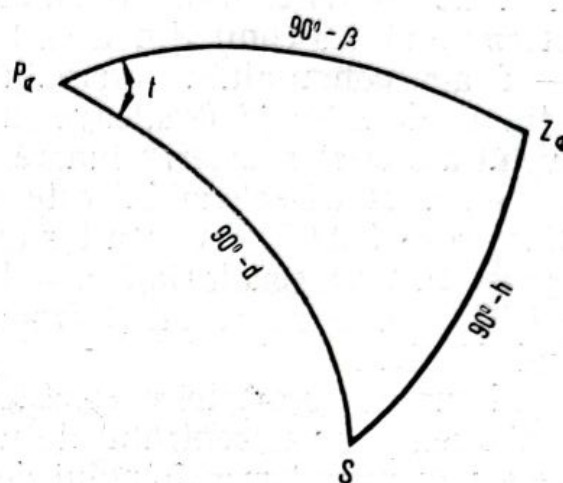


Fig. 9.17. Triunghiul paralactic al Lunii.

Se pot deduce formulele

$$\begin{aligned}
 a_i &= \cos d \cos (\Delta + a) & x &= \cos \beta \cos \lambda \\
 b_i &= \cos d \sin (\Delta + a) & y &= \cos \beta \sin \lambda \\
 c_i &= \sin d & z &= \sin \beta.
 \end{aligned} \quad (9.30)$$

Cînd se utilizează două stele, sistemul de ecuații

$$\begin{aligned}
 a_1 x + b_1 y + c_1 z &= n_1 \\
 a_2 x + b_2 y + c_2 z &= n_2 \\
 x^2 + y^2 + z^2 &= 1
 \end{aligned} \quad (9.31)$$

permite obținerea a două valori ale coordonatelor β și λ . Cînd se folosesc înălțimile a trei stele, sistemul de trei ecuații

$$\begin{aligned}
 a_i x + b_i y + c_i z &= n_i \\
 i &= 1, 2, 3
 \end{aligned} \quad (9.32)$$

dă posibilitatea să se obțină valori și mai precise pentru β și λ . Cînd se observă mai mult de trei stele, problema se rezolvă prin metoda celor mai mici pătrate.

Ca o încheiere a rezultatelor cercetărilor lunare, se dau cîteva noi date de *selenodezie*, obținute cu ajutorul misiunilor Apollo (dotate cu alti-

metre), cu măsurări laser ale distanțelor și radiointerferometrie. Minusculul satelit lunar lansat de către Apollo 16 de la o înălțime de mai puțin de 30 km a făcut măsurări pe partea dinspre Pământ a Lunii determinând masconii din această regiune. S-au determinat armonicile 1—18 ale potențialului câmpului gravitațional lunar, deși definirea noțiunii de *selenoid* (analoagă cu cea de geoid) este neprecisă, deoarece nivelul așa-ziselor „mări” lunare este diferit.

S-a aflat că selenoidul este mai neregulat decât geoidul: turtirea polară $\alpha = 1/2\ 620$ este mult mai mică decât a Pământului ($1/298$), în timp ce turtirea ecuatorială $\alpha = 1/7\ 400$ este mai mare (la Pământ fiind de $1/94\ 000$). S-a corectat și raportul maselor Pământului și a Lunii ca fiind 81,3022.

Măsurările geometrice efectuate cu altimetre-laser au permis determinarea poziției centrului de masă a Lunii, ca aflându-se cu 2,5 km spre est în planul meridianului de 24° față de centrul geometric.

Măsurările laser de distanțe cu ajutorul oglinzilor laser așezate pe suprafața Lunii sînt importante pentru corectarea rețelei terestre de triangulație, determinarea mai precisă a vitezei de rotație ca și a deplasării polului terestru. S-ar putea ajunge pe această cale la variația permanentă a unor parametri mai importanți ai planetei noastre.

10 CERCETAREA LUNII CU AJUTORUL TELEDETECȚIEI

Cercetătorii au fost în permanență preocupați de studierea satelitului natural al planetei noastre, Luna, acest corp ceresc aflat relativ aproape — distanța medie față de Pământ 384 400 km și distanțe extreme 356 400 km și 406 700 km — obținându-se cu mijloace clasice informații destul de variate și exacte cu privire la suprafața sa. Instrumentele astronomice au permis cercetarea a 59% din suprafața sa, cea vizibilă de pe Pământ, obținându-se chiar și imagini fotografice cu rezoluție bună, de ordinul sutelor de metri (a se vedea fotografia 9.1).

După lansarea reușită a primilor sateliți artificiali ai Pământului a devenit posibil, în condițiile actuale de dezvoltare a tehnicii, trimiterea unor nave spațiale spre Lună, pentru a o cerceta de aproape, a plasa pe suprafața sa instalații automate de măsurare și, de ce nu, a trimite oameni pe solul său. Cercetarea Lunii cu ajutorul tehnicilor spațiale a început de pe traiectorii din apropierea ei, apoi de pe orbite circumlunare și în sfârșit chiar de pe solul său de către automate sau cosmonauți în cadrul a două programe sovietice (Luna și Zond) și a patru programe americane (Ranger, Surveyor, Lunar Orbiter și Apollo). Au fost obținute informații deosebit de multe cu privire la Lună: în legătură cu orbita și masa, atmosfera și câmpul magnetic, forma și repartiția interioară a maselor, topografia solului, consistența și compoziția sa.

10.1. PROGRAME SPAȚIALE DE CERCETARE

Înregistrările de teledetecție în sistem fotografic, de televiziune sau radiometric în infraroșu au pus la dispoziția cercetătorilor, de la distanță, informații foarte utile pentru cunoașterea mai profundă a satelitului natural al Pământului. În cele ce urmează se prezintă cele șase programe de cercetare spațială menționate, insistându-se asupra înregistrărilor de teledetecție.

Programul Luna. Desfășurat pe parcursul a 18 ani (1959—1976), acest program de cercetare spațială a satelitului natural al Pământului a necesitat trei generații de nave spațiale și 24 de misiuni. Dintre acestea

doar șapte misiuni au avut printre alte experimente planificate și acela de a prelua și transmite pe Pământ imagini ale suprafeței selenare (tabelul 10.1) și fără ca acesta să fie obiectivul principal. Rezultatele obținute în cercetarea suprafeței selenare și a spațiului circumlunar cu acest program spațial, ca și cu ale programelor spațiale americane au fost prezentate în capitolul 9, în cele ce urmează se fac referiri numai la înregistrările de teledetecție.

Luna 3, a fost lansată la 4 octombrie 1959 fiind, practic, un satelit artificial al Pământului plasat pe o orbită foarte excentrică, la apogeul ei înconjurând Luna (40 000 km/470 000 km) și în această porțiune făcându-se înregistrări, pentru prima dată, ale suprafeței selenare nevăzută de pe Pământ. Pe parcursul a 40 minute au fost activate cele două camere fotografice (cu distanță focală mică — 203 mm pentru a înregistra integral Luna și cu distanță focală mare — 508 mm pentru a înregistra la scări mai mari porțiuni din suprafața lunară). Prelucrarea fotografică s-a făcut automat la bordul navei (develope, spălare, uscare) în condiții de imponderabilitate, instalația de fototeleviziune transformând imaginea vizuală de pe film în semnale electrice prin baleiere cadru cu cadru, care au putut fi transmise telemetric către Pământ. Transmiterea imaginilor s-a făcut cu 10 zile mai târziu. Condițiile de iluminare au fost nefavorabile și imaginile au fost de calitate slabă, dar au putut fi descrise 400 de formații din zona ascunsă a Lunii.

Luna 9, navă din a doua generație, a fost lansată la 31 ianuarie 1966 și a coborât lin pe solul lunar la 3 februarie; s-a desprins o sondă care s-a rostogolit lateral. Camera de televiziune de pe sondă a preluat imagini panoramice după șapte ore de la coborîrea pe Lună, în patru ședințe, în timpul a trei zile.

Luna 12, a fost lansată la 22 octombrie 1966, devenind satelit artificial al Lunii și realizând înregistrări între 25 octombrie și 6 noiembrie, cu un sensor de fototeleviziune, de pe orbita circumlunară (100 km/1 740 km) la distanțe minime. Filmul a fost mai sensibil și rezoluția TV de 1 100 linii pe cadru, evident mai bună, identificându-se cratere chiar cu diametrul de 15—20 m.

Luna 13, s-a plasat lin pe solul lunar la 24 decembrie 1966, transmițând imagini panoramice la intervale de timp corespunzătoare ridicării Soarelui la 6°, 19° și 32° deasupra orizontului. Imaginile au cuprins suprafețe întinse de la 1,5 m de sondă pînă la orizont.

Luna 17, navă spațială din generația a treia, după ce s-a plasat în prealabil pe o orbită circumlunară, a coborât lin pe sol la 17 noiembrie 1970 și a depus vehiculul lunar (Lunohod 1) care s-a deplasat 10 542 m și a transmis prin televiziune 206 imagini panoramice, cu două camere.

Luna 19, a realizat înregistrări ale suprafeței lunare de pe orbita circumlunară pe care a fost plasată la 3 octombrie 1971.

Luna 21, a transportat pe solul lunar al doilea vehicul, Lunohod 2, care s-a deplasat 27,6 km și o diferență de nivel de 400 m, transmițând numeroase imagini ale solului.

Tabelul 10.1

Inregistrări de teledetecție asupra suprafeței selenare executate în cadrul programului Luna

Nava spațială	Data începerii înregistrărilor	Zona de înregistrare	Distanța de înregistrare	Imagini obținute
Luna 3	7.10.1959	Pe fața ascunsă a a Lunii	65 200—6 200—68 400 km	30
Luna 9	4.02.1966	60°V, 7°N în Oceanul Furtunilor	De pe sol	45
Luna 12	25.10.1966	62°V, 19°N în Oceanul Furtunilor	100—340 km	5
Luna 13	25.12.1966		De pe sol	
Luna 17	17.11.1970	Marea Ploilor	Cu Lunohod 1	20 000
Luna 19	3.10.1971		127—135 km	
Luna 21	16.01.1973	Marea Seninătății	Cu Lunohod 2	

Programul Ranger. Acest program de cercetare a Lunii, primul program american, și-a propus să obțină imagini fotografice din apropierea solului lunar cu ajutorul unor camere de televiziune, de pe ultima porțiune a unei traiectorii de impact cu acesta; s-a desfășurat în perioada 1961—1965.

Nava spațială avea forma unui trunchi de con și o bază hexagonală, purtând aparate în greutate de 164 kg; nu dispunea de instalații pentru corectarea traiectoriei, practic executându-se de la sol, la lansare, o „țintire” a Lunii și nici pentru frînarea coborîrii, dar se putea controla orientarea și stabilizarea navei. Pe traiectorie erau desfăcute panourile solare și antenele, iar un radioaltimetru comanda funcționarea camerelor de televiziune când nava se afla la distanța stabilită de solul lunar. Navele spațiale au fost lansate cu rachete de tip Atlas-Agena.

Navele Ranger 1 și 2 au fost încercate pe orbite circumterestre, Ranger 3 și 5 au trecut pe lângă Lună pierzându-se în spațiu fără a îndeplini misiunea, iar Ranger 4 și 6, deși s-au prăbușit pe solul selenar, din cauza unor defecțiuni nu au reușit să transmită imagini. Misiunile Ranger 7, 8 și 9 au realizat peste 17 000 de imagini fotografice, răsplătind cu prisosință eforturile și eșecurile anterioare.

Înregistrările de imagini ale solului lunar s-au realizat cu șase camere de televiziune care erau puse în funcțiune la cca 2 000 km de sol și transmiteau pînă în momentul impactului violent și distrugerea navei. Camerele TV aveau unghiuri de câmp diferite, între $2,1^\circ$ și 25° și efectuau înregistrări în condiții diferite de expunere (tabelul 10.2). Fiecare cameră TV era echipată cu un tub vidicon de 2,5 cm diametru, care permitea detectarea imaginii, iar aceasta era transmisă la stația de recepție de pe Pămînt cu ajutorul a două emițătoare de televiziune. Durata de funcționare a camerelor de preluare a fost de cca 20 minute.

Tabelul 10.2

Sensorii de televiziune de pe navele spațiale Ranger

Caracteristici	Camere de televiziune					
	1	2	3	4	5	6
Distanța focală (mm)	25	75	75	75	25	25
Unghiul de câmp ($^\circ$)	25	8,4	2,1	2,1	6,3	6,3
Timpul de expunere (s)	1/200	1/200	1/500	1/500	1/500	1/500
Frecvența înregistrărilor (s)	2,56	2,56	0,20	0,20	0,20	0,20
Număr de linii pe imagine	1 152	1 152	300	300	300	300
Frecvența transmiterii unei imagini (s)	5,12	5,12	0,84	0,84	0,84	0,84

Ranger 7 a fost lansată la 28 iulie 1964 și după ce a parcurs traiectoria în 68 ore 36 minute s-a prăbușit, conform planului, pe solul lunar cu viteza de 9 430 km/oră. Prima imagine a preluat-o cu 17 minute, iar ultima cu 0,18 secunde înainte de impact de la 480 m de sol, aceasta din

urmă acoperind o suprafață de 30×43 m și oferind o rezoluție de 25 cm. Cele mai puternice telescoape de pe Pământ obținuseră o rezoluție de 300 m pînă la acea dată. Primele imagini s-au obținut de la 2 098 km de sol și pe măsură ce suprafața înregistrată scădea, odată cu micșorarea distanței creștea rezoluția înregistrărilor.

Ranger 8 a parcurs distanța Pământ—Lună în 64 ore și 53 minute, fiind lansată la 17 februarie 1965 și începînd înregistrările cu 24,5 minute înainte de impact (de la 2 500 km). Ultima imagine a fost preluată de la 730 m de sol, avînd o rezoluție de 150 cm. O imagine a fost transmisă către Pământ în 0,2 secunde.

Ranger 9, lansată la 21 martie 1965, a încheiat programul după ce a parcurs traiectoria în 64 ore și 31 minute, înregistrînd imagini timp de 18 minute și 47 secunde, prima de la 2 400 km iar ultima de la 612 m de suprafață și evidențiind detalii de 50 cm. Misiunile *Ranger 7*, *8* și *9* au înregistrat, în total, o suprafață de aproape 200 000 km². Precizia de atingerea a zonei planificate a fost bună și a crescut de la o misiune la alta, spre exemplu, *Ranger 8* la 20 km de locul stabilit, iar *Ranger 9* la 6 km.

Tabelul 10.3

Inregistrările pe Lună executate în cadrul programului *Ranger*

Nava spațială	Data executării înregistrărilor	Zona de impact și înregistrare			Imagini obținute
		Longitudine	Latitudine	Denumirea zonei	
Ranger 7	31.07.1964	20,7°V	10,7°S	Marea Norilor	4 316
Ranger 8	20.02.1965	24,8°E	2,7°N	Marea Liniștei	7 137
Ranger 9	24.03.1965	2,4°V	12,9°S	Craterul Alphonsus	5 814

Programul Zond. Inițial programul de cercetare spațială a fost destinat pentru cercetarea planetelor Venus și Marte, dar după eșecul încercărilor cu misiunile Zond 1 și 2, cu care s-a pierdut legătura prin radio, a fost orientat către cercetarea Lunii. Programul s-a desfășurat în perioada 1964—1970. Din prima generație de nave spațiale ale programului, Zond 1-4, doar misiunea Zond 3 a realizat preluări de imagini ale suprafeței selenare, în timp ce a doua generație de nave, Zond

6—8, au obținut în toate misiunile imagini pe care le-au transmis pe Pământ.

Zond 3 a fost lansată pe o traiectorie către planeta Marte la 18 iulie 1965 și după 33 ore a trecut prin vecinătatea Lunii efectuând înregistrări ale suprafeței selenare în zona vizibilă de pe Pământ, dar și în zona ascunsă neînregistrată în anul 1959 de nava spațială Luna 3. Cele 25 de fotografii alb—negru ale suprafeței selenare au fost obținute începând cu ora 4 și 24 minute când nava se apropia de Lună, au continuat pînă a ajuns la distanța minimă (9 220 km) și în sfîrșit pînă la ora 5 și 32 minute când se depărta de Lună.

Pentru înregistrări s-a folosit un sistem de fototeleviziune cu o cameră cu $f = 106,4$ mm, timpul de expunere 1/100 și 1/300 s, intervalul de așteptare fiind de aproximativ 2,5 minute. Materialul fotosensibil (film de 35 mm) era prelucrat automat pe măsura expunerii sale, uscat și apoi imaginea vizibilă era citită de un dispozitiv care o transforma în semnale transmise ulterior prin televiziune către Pământ. Filmul a fost citit prima dată la 29 iulie 1965 când nava spațială ajunsese la 2,2 milioane km depărtare, iar pentru a doua oară la 23 octombrie 1965 când ajunsese la 31,5 milioane km de Pământ. În cadrul misiunii a fost înregistrată o suprafață de 19 milioane km² în cea mai mare parte suprafața Lunii nevăzută de pe Pământ, identificîndu-se cratere pînă la diametrul de 3 km.

Cea de a doua generație de nave din cadrul programului n-a mai transmis înregistrările prin televiziune, acestea înconjurînd Luna și revenind către Pământ; s-a putut recupera direct materialul fotografic și în acest fel calitatea înregistrării a sporit. Misiunea *Zond 5* a efectuat înregistrări fotografice numai asupra Pământului, de la distanță mare (90 000 km).

Zond 6, a fost lansată spre Lună la 10 noiembrie 1968 și după efectuarea a două ședințe de fotografiere, de 34 minute începînd de la 7 000 km și de 19 minute de la 2 500 km, în apropierea Lunii, materialul fotografic a fost recuperat pe Pământ. Camera fotografică avea distanța focală de 400 mm și s-a folosit un film sensibil de 19 cm × 28,5 m, o imagine avînd formatul 13 × 18 cm.

Zond 7, lansată la 8 august 1969, după ce a realizat fotografii color asupra Pământului de pe traiectoria spre Lună, a survolat-o pe aceasta din urmă efectuînd trei ședințe de fotografiere și înregistrînd mari suprafețe selenare. După reîntoarcerea navei spațiale către Pământ au fost recuperate materialele fotografice.

Zond 8 a evoluat între 20 și 27 octombrie 1970 efectuînd fotografierea atît a Pământului cît și a Lunii pe film alb-negru și color. Unele imagini s-au realizat cu acoperire stereoscopică de 90% pentru prelucrarea lor cu mijloace fotogrammetrice.

Navele spațiale Zond 6, 7 și 8 au fost plasate pe orbite terestre foarte excentrice, înglobând la apogeu și Luna, care era fotografiată în momentul survolării și la întoarcerea lor către Pământ erau recuperate cabinele cu aparatură și materialul fotografic.

Tabelul 10.4

Înregistrările de teledetecție asupra suprafeței selenare executate în cadrul programului Zond

Nava spațială	Data executării înregistrărilor	Zona de înregistrare	Distanța de înregistrare	Imagini obținute
Zond 3	20.07.1967	În principal fața ascunsă.	11 570—9 920— —9 960 km	25
Zond 6	14.11.1968	Din partea vizibilă și cea ascunsă	10 000—2 420— —3 300 km	c. 200
Zond 7	11.08.1969	Idem	10 000—2 000 km	
Zond 8	24.10.1970	Idem	12 000 km	

Programul Surveyor. Al doilea program american de cercetare a Lunii, reprezentând o nouă fază, a urmărit coborîrea lină pe suprafața lunară a unor nave spațiale și înregistrarea de pe sol a unor suprafețe cât mai mari, în special pentru planificarea misiunilor viitoare cu oameni la bord. Traectoria spre Lună a navelor spațiale era asemănătoare cu cea a misiunilor Ranger, traectorie de interceptare. Programul s-a desfășurat în perioada 1966—1968 și cu excepția a două eșecuri Surveyor 2 și 4, cinci nave spațiale și-au îndeplinit misiunea transmițând spre Pământ aproape 100 000 de imagini ale solului lunar.

Nava Surveyor a fost înzestrată cu două camere de televiziune care au efectuat înregistrări panoramice din locul de coborîre, iar pentru a urmări o suprafață de teren cât mai mare s-a căutat a se mări câmpul de vedere al camerelor TV. În acest scop, începînd cu Surveyor 3, s-au montat pe cadrul navei două oglinzi plane de beriliu, mobile față de obiectivul camerelor. Patru filtre optice și de polarizare au fost montate pe un disc rotativ în fața obiectivului camerei TV; diafragma și obturatorul erau comandate de pe Pământ. Cîteva caracteristici ale sensorilor sînt date în tabelul 10.5.

Surveyor 1 a fost lansată la 30 mai 1966 cu o rachetă Atlas—Centaur și după ce a coborît pe solul lunar a preluat cu sensorii TV imagini de

Tabelul 10.5

Caracteristicile înregistrărilor TV de pe navele spațiale Surveyor

Caracteristici	Camera de televiziune	
	Cu unghi mic de deschidere	Cu unghi mare de deschidere
Unghiul de câmp (°)	6,4	25,4
Focusarea (prin comandă de pe Pământ)	1,2 m — ∞	
Numărul de linii pe imagine	200	600
Obținerea unei imagini	61,8	3,6

calitate foarte bună. Devierea față de punctul stabilit pentru coborîrea lină a fost de 30 km, dar cu o întârziere față de program de numai 3 secunde.

Surveyor 3 a executat aceleași înregistrări de imagini de pe sol, pe lângă alte experimente planificate, cu cele două camere de televiziune, beneficiind și de cele două oglinzi amintite. S-a mai realizat un experiment pentru cercetarea unor probe de sol cu ajutorul unui braț articulat care se putea întinde pînă la 152 cm, acestea fiind înregistrate cu camera TV.

Tabelul 10.6

Înregistrările pe Lună executate în cadrul programului Surveyor

Nava spațială	Data începerii înregistrărilor	Zona de coborîre și înregistrare panoramică			Imagini obținute
		Longitudine	Latitudine	Denumirea zonei	
Surveyor 1	2.06.1966	43°V	3°S	Oceanul Furtunilor	11 423
Surveyor 3	19.04.1967	23,34°V	2,94°S	Oceanul Furtunilor	6 319
Surveyor 5	11.09.1967	23,55°E	1,45°N	Marea Liniștei	18 000
Surveyor 6	9.11.1967	1,33°V	0,42°N	Golful Central	30 000
Surveyor 7	10.01.1968	11,53°V	40,86°S	Nord de craterul Ticho	31 000

Surveyor 5 a realizat aceleași experimente, iar *Surveyor 6* a efectuat în plus un salt dirijat de 2,4 m pentru a se așeza în altă poziție și a obține o altă serie de imagini cu acoperire stereoscopică pentru cercetarea reliefului.

Surveyor 7, ultima din cadrul programului, a realizat în plus și alte experimente, în total nouă. S-a renunțat la restul de 10 experimente deoarece rezultatele obținute pînă la cea de a șaptea misiune au fost excelente.

Programul Lunar Orbiter. Acest program, desfășurat pe parcursul a doi ani (1966—1967), reprezintă a treia fază a cercetărilor spațiale americane cu privire la Lună; de această dată de pe orbite circumlunare s-a urmărit obținerea unor imagini fotografice de mare rezoluție, în special pentru planificarea zonelor de coborîre din misiunile cu oameni, Apollo. Navele spațiale de tip Lunar Orbiter au avut diametrul de 1,52 m, înălțimea de 1,68 m fără panourile solare și antene (figura 10.1), transportînd o sarcină utilă de 73 kg și fiind planificate a funcționa pe orbită pînă la două luni. Toate cele cinci misiuni au fost încununate de succes, încetarea existenței s-a făcut prin prăbușirea comandată de la centrul de dirijare a zborurilor. Au fost efectuate transferări de pe o orbită pe alta.

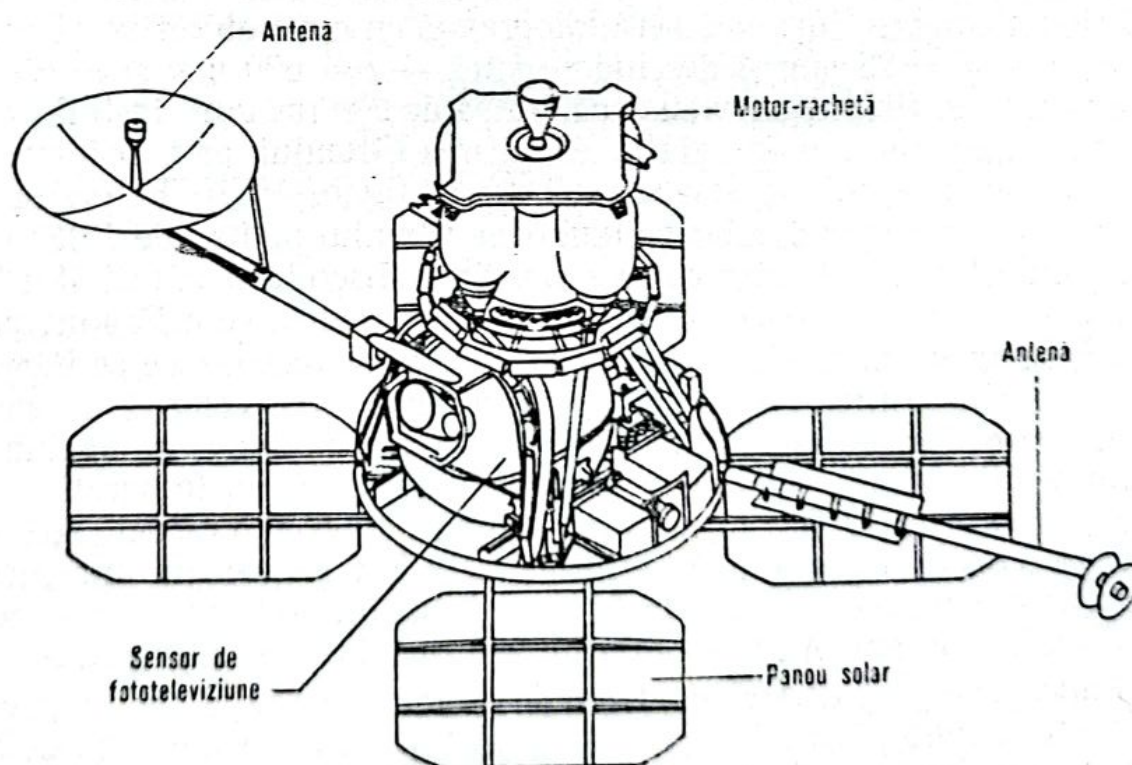


Fig. 10.1. Nava spațială Lunar Orbiter.

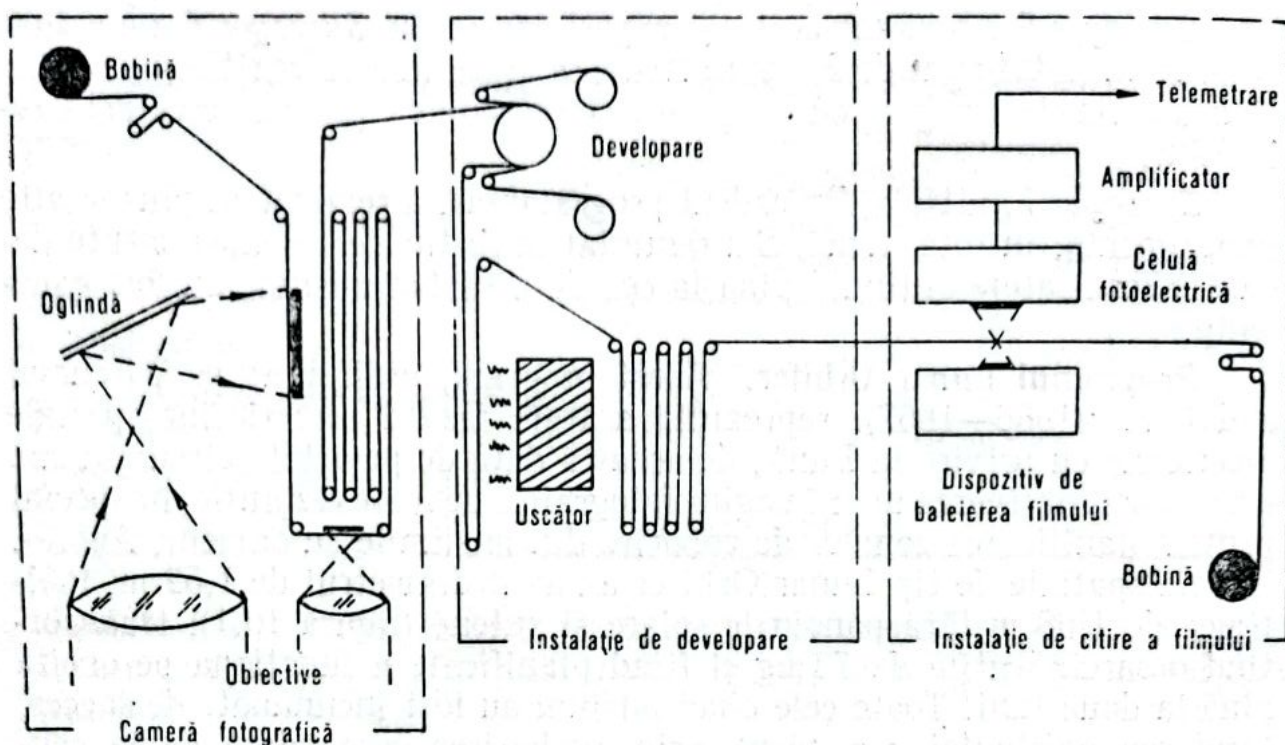


Fig. 10.2. Schema sistemului de obținere a imaginilor cu sensorul de fototeleviziune de pe Lunar Orbiter.

Ca sensor de teledetecție s-a folosit un sistem de fototeleviziune perfecționat compus din: o cameră fotografică cu două obiective (deschidere mare — $f = 88$ mm și deschidere mică — $f = 600$ mm și rezoluție foarte mare), un film negativ cu capacitatea de 200 imagini, instalații de prelucrare automată, o instalație de citirea filmului prin baleiere și transformarea imaginii în semnale electrice (figura 10.2). Baleierea liniară se executa perpendicular pe lungimea filmului pe fișii de 2,667 mm lățime, un fotomultiplicator colecta imaginea discretă rezultată din baleiere și semnalele electrice erau transmise telemetric spre Pământ prin intermediul unei antene direcționale. La centrul de recepție de pe Pământ se făcea reconstituirea imaginilor pe film. Baleierea celor două cadre obținute simultan cu cele două obiective și transmiterea se efectua în 46 minute. Principala misiune a programului a fost cea fotografică.

Lunar Orbiter 1 a fost lansată la 10 august 1966 cu o rachetă Atlas—Agena pe o orbită circumlunară eliptică, ce a fost modificată în repetate rînduri prin comenzi de la sol, la 24 august distanța minimă de sol (periluna) fiind de 40 km. Au fost obținute 215 imagini ale solului lunar.

Lunar Orbiter 2 a transmis, timp de o lună începînd de la 10 noiembrie 1966 imagini a 13 zone posibile de debarcare a oamenilor în cadrul programului Apollo. Ulterior și-a modificat periluna la 39 km și apoi și-a mărit înclinarea orbitei la 17° . În fotografia 10.1 este prezentată una

dintre imaginile realizate în cadrul acestei misiuni spațiale. Cele 205 imagini au fost obținute de la distanțe cuprinse între 43 km și 1 448 km, numai în zonele care au prezentat interes.

Lunar Orbiter 3 a efectuat înregistrarea a 187 imagini de pe o orbită cu înclinarea mai mare, în special a 12 zone test pentru programul Apollo, deseori cu suprapunere stereoscopică, în februarie 1967.

Lunar Orbiter 4 a fost lansată la 5 mai 1967 și plasată pe o orbită mai depărtată de suprafața selenară, dar și cu o înclinare foarte mare, înregistrându-se 99% din suprafața vizibilă și 75% din cea nevăzută pe Pământ.

Lunar Orbiter 5 a evoluat inițial pe o orbită și mai excentrică păstrând totodată înclinarea mare a navei precedente (aproape polară), în august 1967. În tabelul 10.7 se prezintă câteva elemente ale orbitelor navelor spațiale Lunar Orbiter.

Pe lângă misiunea principală de a obține imagini ale suprafeței selenare, misiunile Lunar Orbiter au cercetat câmpul gravitațional al Lunii, mărimea, forma și repartitia interioară a maselor care provoacă perturbarea orbitelor sateliților lunari, stabilind bazele selenodeziei.

Tabelul 10.7

Orbitele inițiale de evoluție a navelor spațiale Lunar Orbiter

Nava spațială	Data trecerii pe orbita circumlunară de înregistrare	Caracteristici inițiale ale orbitelor			
		Periluna (km)	Apoluna (km)	Înclinarea (°)	Perioada (min)
Lunar Orbiter 1	14.08.1966	188	1 868	12,2	217
Lunar Orbiter 2	10.11.1966	200	1 852	11,8	216
Lunar Orbiter 3	12.02.1967	55	1 847	21	209
Lunar Orbiter 4	8.05.1967	2 705	6 034	85,48	721
Lunar Orbiter 5	5.08.1967	195	6 023	85,01	512

Programul Apollo. Rezultatele acestui program de cercetare desfășurat timp de peste patru ani (1968—1972) au fost fără îndoială cele mai spectaculoase în ceea ce privește cunoașterea și înregistrarea sateliților naturali al Pământului. Cea mai importantă realizare a fost trimiterea oamenilor în vecinătatea sa și coborîrea apoi pe solul selenar. În cadrul programului, în partea sa cu privire la cercetarea Lunii, căci au avut loc experimentări și chiar misiuni care s-au preocupat de Pământ, au fost efectuate numeroase înregistrări de teledetecție, fotografice alb-ne-

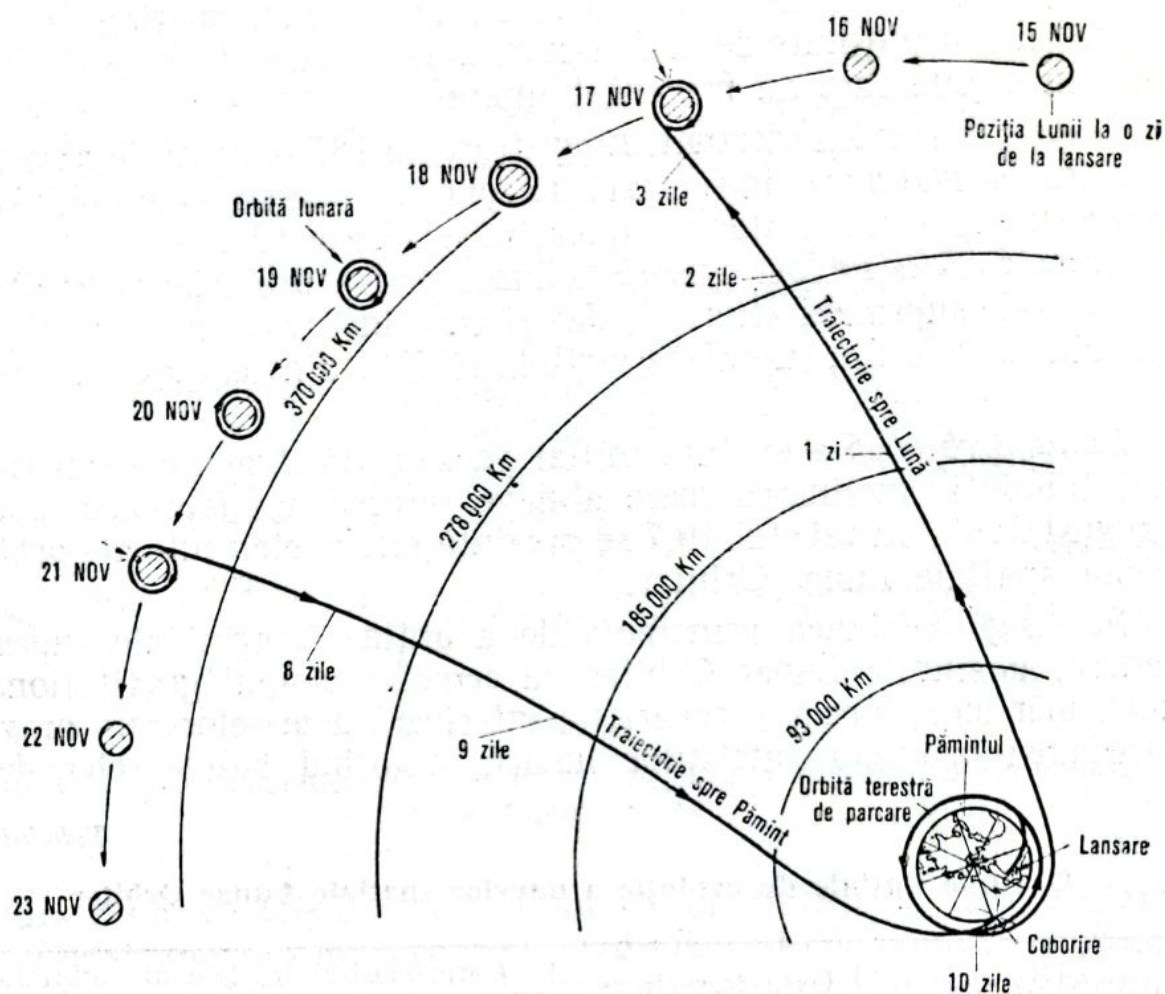


Fig. 10.3. Desfășurarea misiunii selenare Apollo 12 (14—24 nov. 1969).

gru, color, spectrozonale, în infraroșu sau ultraviolet, radiometrice, cu senzori de televiziune sau senzori radar.

O navă spațială Apollo a constatat dintr-un modul de comandă, un modul de serviciu și un modul lunar pentru coborîrea pe Lună și revenirea pe orbită. O misiune Apollo de cercetare a Lunii s-a desfășurat în următoarele faze (în figura 10.3 se prezintă desfășurarea misiunii Apollo 12): lansarea navei cu trei cosmonauți cu o rachetă Saturn pe o orbită circumterestră; trecerea pe traiectoria către Lună, separarea navei de rachetă și corecții pe parcurs; înscrierea pe o orbită circumlunară cu modificări de orbită, înregistrări de teledetecție și alte experimente științifice de pe orbită; separarea modulului lunar cu cei doi cosmonauți la bord și coborîrea lină pe solul lunar; activități pe sol în zona de coborire, înregistrări și experimentări; părăsirea solului lunar și cuplarea cu nava spațială; înscrierea pe o traiectorie către Pământ și coborîrea pe acesta în interiorul capsulei prin parașutare în zona atmosferei.

Misiunile selenare Apollo au folosit diferiți senzori fotografici (camere fotografice Hasselblad 500 EL, 500 C și 500 SWC, camere fotografice de recunoaștere Hycon KA-74, camera panoramică Itek, camere Maurer), senzori de televiziune ș.a. Înregistrările fiind realizate de cosmonauți, cantitatea imaginilor a fost mare, iar calitatea celor mai multe a fost deosebită (fotografiile 10.2, 10.3 și 10.4).

Misiunile *Apollo 8* și *10* au evoluat pe orbite circumlunare de 10 ori prima și de 31 ori a doua, din care patru în modulul lunar. Misiunea *Apollo 13* a avut un incident, a înconjurat Luna la 250 km și s-a reîntors pe Pământ.

Misiunile *Apollo 11*, *12*, *14*, *15*, *16* și *17* au depus cosmonauți pe solul lunar care l-au cercetat îndeaproape, au adus pe Pământ câteva sute de kg de material de pe sol și din subsol. Ultimele trei misiuni au beneficiat și de ajutorul unor vehicule lunare care le-a ușurat deplasarea, parcurgând cu acestea 11 km, 27 km, respectiv 36 km.

Tabelul 10.8

Misiunile selenare Apollo cu trei cosmonauți la bord

Nava spațială	Perioada misiunii	Zona coborîrii pe solul lunar		
		Longitudinea	Latitudinea	Denumirea zonei
Apollo 8	21—27.12.1968	10 orbite în jurul Lunii		
Apollo 10	18—26.05.1969	31 orbite în jurul Lunii; 4 cu modulul separat		
Apollo 11	16—24.07.1969	23,5°E	0,7°N	Marea Liniștei
Apollo 12	14—24.11.1969	23,3°V	2,5°S	Oceanul Furtunilor
Apollo 13	11—17.04.1970	Incident, revine pe Pământ		
Apollo 14	31.01—9.02.1971	17,5°V	3,7°S	Fra Mauro
Apollo 15	26.07—7.08.1971	3,7°E	26,4°N	Hadley
Apollo 16	16—27.04.1972	16°E	8°S	Nord de craterul Descartes
Apollo 17	7—19.12.1972	30°E	20°N	Littrow—Taurus

Dintre numeroasele experimente științifice realizate de fiecare misiune (5—28 experimente) se menționează: obținerea de fotografii alb-negru sau color ale suprafeței lunare, ale Lunii și Pământului; preluarea de fotografii panoramice de mare rezoluție (1—2 m), normale sau stereoscopice, de pe orbită la 100 km; obținerea de fotografii metrice de cali-

tate ridicată în scop cartografic; fotografierea în ultraviolet a Lunii și Pământului; măsurarea emisiei termice a suprafeței lunare cu un radiometru de baleiere în infraroșu ș.a.

10.2. FOTOGRAMMETRIE ÎN SPAȚIUL SELENAR

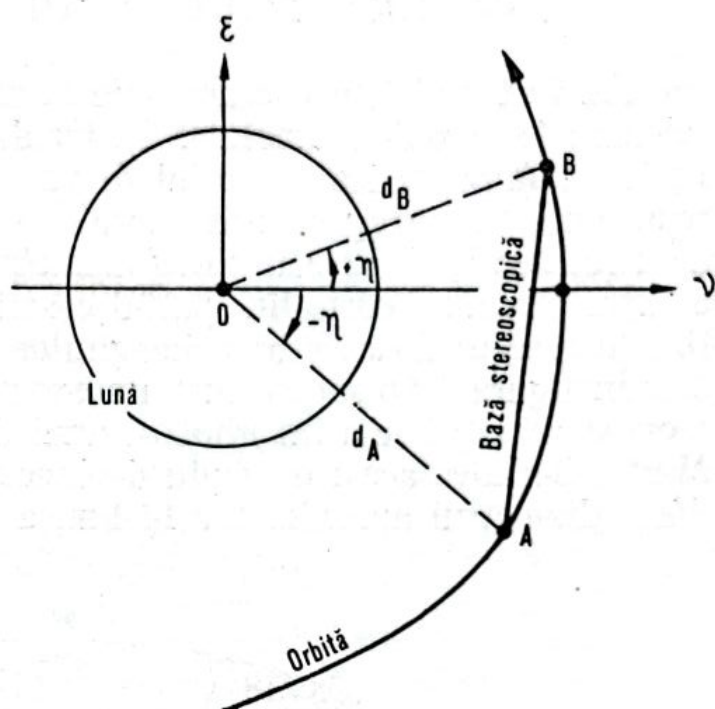
Imaginile fotografice obținute cu senzorii de teledetecție de pe nave spațiale care au survolat Luna sau au coborât pe suprafața sa au pus la dispoziția specialiștilor un imens conținut de informații utile. Pentru interpretarea fotografică mai profundă s-a apelat la mijloacele pe care le are fotogrammetria, adaptate condițiilor de preluare a înregistrărilor din Cosmos, apărând o nouă ramură a sa *fotogrammetria cosmică*, care se definește ca fiind fotogrammetria aplicată la înregistrarea, măsurarea și reprezentarea obiectelor aflate și fenomenelor produse pe diferite corpuri din spațiul cosmic (planete, sateliți naturali etc.).

Programele spațiale Luna, Zond, Surveyor, Lunar Orbiter, Apollo au utilizat mijloacele fotogrammetrice pentru a obține produse specifice și a culege un plus de informații. Spre exemplu:

Înregistrările feței nevăzute, de pe Pământ, a Lunii din nava spațială Luna 3 au fost de calitate slabă pentru că nu s-a ținut cont de problemele bine cunoscute în fotogrammetrie, că o suprafață luminată direct de Soare nu scoate bine în evidență caracteristicile topografice ale solului. Acestea ar fi apărut mai evidente la o altă poziție a Soarelui, cu umbrele mai pronunțate. În cazul înregistrărilor de pe sol din cadrul misiunii Luna 9 s-a profitat de faptul că după a doua transmisie sonda a alunecat provocând înclinarea axei verticale a camerei și în acest fel s-au obținut imagini stereoscopice, respectiv s-au putut trasa curbe de nivel. Mai mult, vehiculul lunar Lunohod 1 adus pe Lună de nava spațială Luna 17 a obținut imagini stereoscopice, baza de înregistrare dintre două imagini fiind de 40 cm. Fotografiile panoramice ale solului obținute de Luna 13 la intervale de timp corespunzătoare ridicării Soarelui la 6° , 19° și 32° au permis ca, prin defilarea umbrei, să se evalueze mărimea obiectelor.

Zond 8 a executat înregistrările cu acoperire stereoscopică de 90% pentru a putea fi prelucrate stereofotogrammetric. S-a apelat și la o fototriangulație, coordonatele unor cratere de pe fața vizibilă a Lunii conținute de benzi de fotografiere au folosit ca bază matematică de sprijin pentru restul benzii aflat în cealaltă zonă a Lunii. Cu fotografiile obținute de Zond 6 și 8 au fost întocmite fotoplanuri la scările 1:1 000 000 și 1:2 000 000 pentru diferite zone ale suprafeței selenare, ca și fotehărți și chiar hărți topografice generale, utilizând metode fotogrammetrice clasice de prelucrare, adaptate la înregistrările extraterestre. În deter-

Fig. 10.4. Înregistrarea stereoscopică și sistemul de coordonate orbitale.



minări s-a ținut cont de unghiul de înclinare al fotografiilor față de verticala locului și de curbura mare a suprafeței lunare.

Surveyor 3 a produs imaginile care s-au asamblat în fotomozaicuri, iar Surveyor 6 aflat pe sol a realizat o acțiune originală; după ce a înregistrat un set de imagini, s-a comandat reșezarea navei făcând un salt de 2,4 m și s-a înregistrat un nou set de imagini, obținând astfel acoperirea stereoscopică și posibilitatea de prelucrare stereofotogrammetrică.

Lunar Orbiter 3 și alte misiuni ale programului au înregistrat de la început cu acoperire stereoscopică din poziție pe orbita circumlunară, dar și prin faptul că două cadre obținute simultan cu sensorul de fototeleviziune au înregistrat suprafețe comune.

Înregistrarea stereofotogrammetrică de pe orbită a suprafeței selectate (figura 10.4) din două poziții succesive A și B, distanța AB reprezentând baza de înregistrare, se face în sistemul de coordonate al orbitei $O\varepsilon\nu\delta$. Coordonatele orbitale ale celor două centre de preluare a imaginii se pot calcula cu ecuațiile

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_A &= d_A \cos \eta_A \\ \nu_A &= d_A \sin \eta_A \\ \delta_A &= 0 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \varepsilon_B &= d_B \cos \eta_B \\ \nu_B &= d_B \sin \eta_B \\ \delta_B &= 0 \end{aligned} \quad (10.1)$$

în care d_A și d_B — sînt distanțele dintre nava spațială și centrul Lunii, iar η_A și η_B sînt numite anomaliiile reale ale sensorului în cele două poziții.

10.3. CARTOGRAFIEREA LUNII

Au fost stabilite coordonatele selencgrafice și rețeaua cartografică selenară (a se vedea punctul 9.7), iar dacă se va accepta și un sistem de proiecție (a se vedea capitolul 5) va exista o bază matematică pentru reprezentarea cartografică a suprafeței selenare folosind înregistrările de teledetecție (eventual fotogrammetrice). Reprezentarea cartografică a suprafeței unui corp din spațiul cosmic (planetă, satelit) se poate realiza în prezent doar pe baza imaginilor fotografice ale acestuia.

În figura 10.5 se prezintă un exemplu de reprezentare cartografică a emisferei nordice a lui Phobos, unul dintre cei doi sateliți ai planetei Marte. S-a ales acest exemplu deoarece datorită dimensiunilor sale reduse, diametrul aproximativ 14 km, a putut fi înregistrat integral din

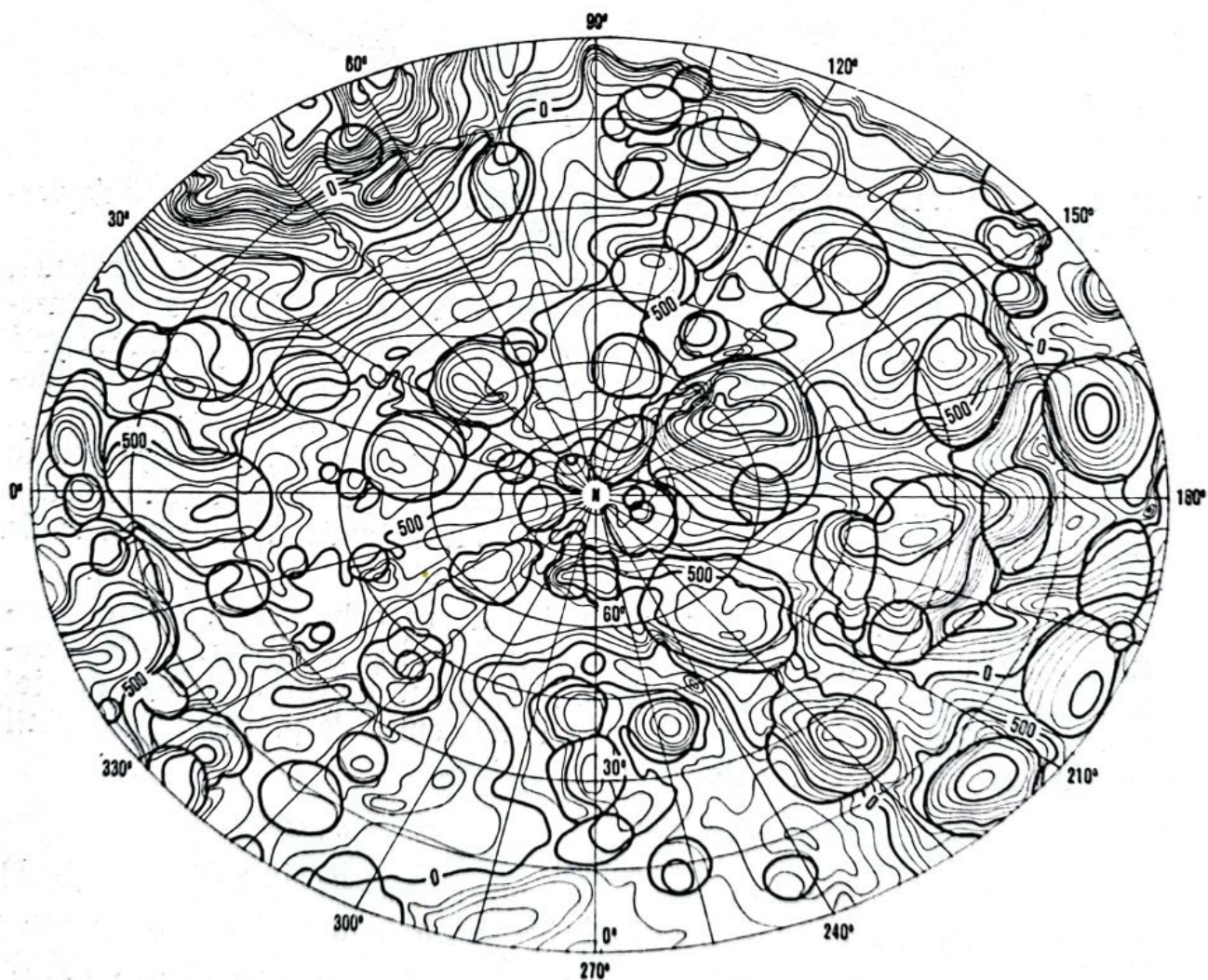


Fig. 10.5. Reprezentarea cartografică a emisferei nordice a satelitului Phobos al planetei Marte.

apropiere de o navă spațială (Viking 1). Față de rețeaua cartografică a satelitului, meridianele și paralelele redată din 15° în 15° , relieful este trasat prin curbe de nivel cu echidistanța de 100 m și planimetria, exemplificată în cazul de față prin cratere. Aceasta s-a realizat prin restituția fotogrammetrică a unui cuplu de două imagini cu suprapunere stereoscopică, înregistrate de nava spațială Viking 1 de la 70 km cu senzori de televiziune.

În același fel, dar utilizând numeroase imagini fotografice obținute de nave spațiale care au survolat Luna, a fost posibilă întocmirea de hărți și fotohărți cu curbe de nivel prin stereorestituția fotogrammetrică a imaginilor stereoscopice obținute cu utilizarea tehnicilor de teledetecție (fotografia 10.5). Astfel: cu înregistrările realizate în cadrul programului Zond s-au executat hărți ale solului lunar, pentru fața vizibilă cât și pentru cea ascunsă, la scările 1 : 5 000 000 și 1 : 2 000 000, iar folosind și materialele altor misiuni spațiale s-au elaborat atlase complexe ale Lunii; cu înregistrările programului Ranger, hărți la scările 1 : 1 000 000, 1 : 500 000, 1 : 100 000, 1 : 10 000 și 1 : 1 000 pentru anumite zone. Încă din anul 1960 a fost editat atlasul părții nevăzute a Lunii cu puținele înregistrări realizate în anul 1959 de nava spațială Luna 3.

BIBLIOGRAFIE

1. Albotă, M. *Cercetarea spațiului extraterestru cu ajutorul sensorilor de telcdelecție de pe navele spațiale*, București, Analele IGFCOT, Vol. I, 1979.
2. Albotă, M. *Fotogrammetrie extraterestră*, București, IGFCOT — Lucrările lectoratului de informare tehnico-științifică, 1979.
3. Albotă M., *Remote Sensing and New Energetic Resources*, Modern Trends in Cybernetics and Systems, vol. II, Berlin, Springer Verlag, 1975.
4. Albotă, M., Vass, G., Ioanid, G. *Topographic Content Investigation of Landsat Classified Multispectral Images, Displayed on a Plotter*, Hamburg, XIV Congress of the International Society for Photogrammetry, 1980.
5. Andreescu, D. *Enciclopedia programelor spațiale, 1957—1977*, Vol. I, București, Editura militară, 1979.
6. Aubouin, J., Dercort, J., Labesse, B. *Manuel de travaux pratiques de cartographie*, Paris, Dunod Université, 1970.
7. Bélanger, J.R., Morrin, J.M. *Synagraphic Computer Mapping. Manual of Detailed Geomorphological Mapping*, Brno, CSR Academy of Science, 1972.
8. Botez, M. *Geodezie, Vol. I*, București, Editura didactică și pedagogică, 1969.
9. Bouasse, H. *Géographie mathématique*, Paris, Librairie Delagrave, 1919.
10. Brandt, T.C., Hodge, P.W. *Solar System Astrophysics*, Moskva, Izd. „Mir“, 1967.
11. Bronstein, V.A. *Fizika Lunii i Planet*, Astronomiceskii kalendar, 1971, Moskva, Izd. „Nauka“, 1970.
12. Carrier, A. *Traité de topographie générale*, Paris, Ed. Girard, Barrere et Thomas, 1947.
13. Chauvenet, W. *A Manual of Spherical and Practical Astronomy, Vol. I, Spherical Astronomy, Vol. II, Theory and Use of Astronomical Instruments*, Philadelphia, J.B. Lippincott Comp., 1891.
14. Chiș, G. *Détermination des coordonnées géographiques de l'Observatoire Astronomique de l'Université „V. Babeș“ de Cluj*, Publ. Observat. Astron. Cluj, nr. 14, Bul. Soc. de Șt. din Cluj, Tome X, 1948.
15. Cichowicz, L. *Méthodes d'astronomie géodésique pour la zone intertropicale*, Warszawa, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1966.
16. Costăchel, A., Cristescu, N., Mihail, D. *Topografie*, București, Editura didactică și pedagogică, 1970.
17. Cuenin, R. *Cartographie générale, Tome 1*, Paris, Eyrolles Éditeurs, 1972.
18. Defossez, L. *Les cartes géographiques et leurs projections usuelles*, Paris, Gauthier-Villars, 1910.
19. Devdariani, A.S. *Relief zemli i matematika*, Moskva, Izd. „Misl“, 1967.
20. Dinescu, A. *Geodezie geometrică spațială*, București, Academia militară, 1977.
21. Dragomir, V., Ghițău, D., Mihallesc, M., Rotaru, M. *Teoria figurii Pământului*, București, Editura tehnică, 1977.
22. Dumitrescu, V. *Cosmofotografiile. Importanța și utilizarea lor în geografie*, Rezumatul tezei de doctorat, București, Institutul de geografie, 1970.

23. Dumitrescu, V. *Noi metode de construire a proiecțiilor azimutale ortografice*, București, Analele Universității București, Seria Științele Naturii, nr. 16, 1962.
24. Garaevskaia, L.S. *Cartografia*, Institutul de documentare tehnică, București, 1958.
25. *Geodetic Parameters for a 1966 Smithsonian Institution Standard Earth*, Cambridge (S.U.A.), Smithsonian Institution Astrophysical Observatory, 1966.
26. Ghițău, D. *Geodezie*, București, Editura didactică și pedagogică, 1972.
27. Gusev, I.N. *Sbornik zadacii po kursu kartografii*, Moskva, M.G.U., 1968.
28. D'Hollander, R. *Topographie générale*, Tome 2, Paris, Eyrolles Éditeurs, 1971.
29. Kopal, Z., Mikhailov, Z.K. *The Moon*, London and New York, Acad. Press, 1962.
30. Kovalevsky, J. *La géodésie spatiale*, Paris, La recherche, nr. 33, 1973.
31. Levallois, J., Kovalevsky, J. *Géodésie générale*, Tome IV, Géodésie spatiale, Paris, Éditions Eyrolles, 1971.
32. Lipski, I.N. *Figura lunii i problemii lunii topografiei*, Moskva, Izd. „Nauka”, 1968.
33. *Manual of Color Aerial Photography*, Falls Church, American Society of Photogrammetry, 1968.
34. *Manual of Photogrammetry*, Washington, American Society of Photogrammetry, 1965.
35. *Manual of Photographic Interpretation*, Washington, American Society of Photogrammetry, 1960.
36. *Manual of Remote Sensing*, Falls Church, American Society of Photogrammetry, 1976.
37. Marcuse, A. *Handbuch der geographischen Ortsbestimmung für Geographen und Forschungsreisende*, Braunschweig, Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn, 1905.
38. Markov, A.V. *Luna*, Moskva, Gosudarstvennoe izdatelstvo fiziko-matematicheskoi literatury, 1960.
39. Marton, G., Zegheru, N. *Fotogrammetrie*, București, Editura Ceres, 1972.
40. Meșceriakov, G.A. *Teoreticheskie osnovy matematicheskoi kartografii*, Moskva, Izd. „Nedra”, 1968.
41. Morgunov, N.F., Sisoiev, K.A. *Geodezia*, Moskva, Izd. „Nedra”, 1970.
42. Motz, L., Duveen, A. *Essentials of Astronomy*, London and Glasgow, Blackie and Sons, 1966.
43. Mueller, I.I. *Spherical and Practical Astronomy as Applied to Geodesy*, New York, Frederick Ungar Publishing Co., 1969.
44. Müller, O. *Ergebnisse der Apollo-und Luna Mondflüge*, Dusseldorf, Sterne und Weltraum, nr. 1, 1973.
45. Năstase, A. *Curs de cartografie*, București, Editura didactică și pedagogică, 1963.
46. Niehammer, T. *Die Genauigkeit der astronomisch-geographischen Ortsbestimmung*, Basel, Verlag Birkhäuser, 1947.
47. Oprescu, N. *Fotogrammetrie*, București, Institutul de construcții, 1971.
48. Oprescu, N., Albotă, M. ș.a. *Fotogrammetrie — Fotointerpretare — Teledetecție*, Secțiunea a IX-a din „Manualul inginerului geodez”, București, Editura tehnică, 1974.
49. Page, T.L. *The Third Lunar Science Conference, I, II*, Cambridge (S.U.A.), Sky and Telescope, Vol. 43/4, 1972.
50. Page, T.L. *Notes on the Fourth Lunar Science Conference, I, II, III*, Cambridge (S.U.A.), Sky and Telescope, Vol. 45/6, Vol. 46/1, Vol. 46/2, 1973.
51. *Remote Sensing for Environmental Sciences*, Berlin-New York, Springer-Verlag, 1976.
52. Robinson, A.H., Sale, R.D. *Elements of Cartography*, New York, London, Sydney, Toronto, John Wiley and Sons, Inc., 1969.
53. Russu, A. *Topografie cu elemente de geodezie și fotogrammetrie*, București, Editura agrosilvică, 1968.

54. Săndulache, A., Buta, I., Şoneriu, I. *Probleme practice de topografie şi cartografie*, Cluj, Litografia învăţământului, 1956.
55. Săndulache, A., Sficlea, V. *Cartografie-Topografie*, Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1970.
56. Sinnot, R.W. *Visit to Taurus-Littrow*, Cambridge (S.U.A.), Sky and Telescope, Vol. 45/2, 1973.
57. Socolescu, M. *Geofizică*, Bucureşti, Editura didactică şi pedagogică, 1967.
58. Soloviev, M.D. *Proiecţii cartografice*, Bucureşti, Editura Minerva, 1955.
59. Strahler, A.N. *Geografie fizică*, Bucureşti, Editura ştiinţifică, 1973.
60. Şibanov, F.A. *Ocerki po istorii otecestvennoi kartografii*, Izd. Leningradskogo Universiteta, 1971.
61. Urey, H.C. *The Moon, Earth and Space*, 1968.
62. Ursea, V., Petruţă, I. *Radiogeodezie*, Bucureşti, Editura tehnică, 1968.
63. Venţel, M.K. *Sfericeskaia astronomia*, Moskva, Izd. geodeziceskoi i kartografi-ceskoi literaturî, 1952.
64. Vlad, C. *Sistemul de proiecţie stereografic român*, Bucureşti, Institutul Geografic Militar, 1948.
65. Vujević, P. *Bazele geografiei matematice şi fizice*, Beograd, 1923.
66. Watts, R.N. *More about Apollo 16*. Cambridge (S.U.A.), Sky and Telescope, Vol. 44/1, 1972.
67. Watts, R.N. *Orange Soil and other Apollo 17 Results*, Cambridge (S.U.A.), Sky and Telescope, Vol. 45/3, 1973.
68. Weaver, K.F. *Have we Solved the Mysteries of the Moon?*, Washington, National Geographic, 144.3, 1973.
69. Wyatt, S.P. *Principles of Astronomy*, Boston, Allyn and Bacon, Inc., 1971.
70. Zegheru, N., Albotă, M. *Introducere în teledetecţie*, Bucureşti, Editura ştiinţifică şi enciclopedică, 1979.

INDEX SELECTIV DE NOȚIUNI

- Aberație
 - a luminii 156
 - planetară 157
 - stelară 157
- Acoperire
 - longitudinală 63
 - transversală 63
- Acordul laturilor 48
- Aerofotografiere 63
- Aerotriangulație 75
- Almucantarat 87
- Altimetrie 35
- Altimetru radar 210
- Altitudine
 - mecanică 34
 - ortometrică 34
- An
 - sideral 137
 - tropic 136
- Anotimp 135, 137
- Ascensie dreaptă 133
- Atmosfera Lunii 251
- Axa lumii 127
- Azimut
 - al unei direcții 177
 - astronomic 28, 177
 - geodezic 177, 184
- Bază
 - de aerofotografiere 64, 72
 - de triangulație 46
- Calibrare radiometrică 62
- Cameră
 - fotoaeriană 61, 63
 - multispectrală 63
- Canevas
 - azimutal 95
 - cartografic 86
 - geodezic 35
 - gnomonice 99
 - ortodromic 99
 - stelat 124
 - stereografic 97, 107
- Ceas
 - atomic 164
 - cu cuarț 164
- Cerc
 - de latitudine 137
 - meridian 170
- Cîmpul magnetic lunar 253
- Climatul lunar 253
- Colatitudine 89
- Condiția
 - conformității 83
 - echivalenței 83
 - lui Laplace 28
- Constanta
 - gravitațională 18
 - stadimetrică 42
- Constelații 126
 - zodiacale 134
- Coordonate
 - adevărate 158
 - astronomice 28
 - carteziene 39
 - ecliptice 136, 147
 - ecuatoriale 133, 147
 - fizice ale Lunii 267
 - fotogrammetrice 73
 - geocentrice 24, 154, 213
 - geodezice 23, 28, 213
 - geografice 131
 - în spațiu 40
 - medii 158
 - orare 132, 145
 - orizontale 131, 145
 - plane 39
 - polare 40
 - rectangulare 39
 - selenografice 265
 - sferice 213
 - topocentrice 154, 213
- Corecția pendulei 174

- Cotă
 absolută 56
 relativă 56
 Crater lunar 255
 Culminație
 inferioară 129
 superioară 129
- Date geodezice 29
 Declinație 132
 Deplasarea polului 149, 165
 Depresiunea orizontului 129
 Deschidere relativă 168
 Distanță zenitală 132
 Drumuire 50
- Ecliptică 134
 Ecuator ceresc 129
 Ecuația lui Poisson 20
 Efect
 Doppler 225
 stereoscopic 71
 Elemente
 ale orbitei 208
 de orientare 66
 Elipsa deformărilor 82
 Elipsoid
 de referință 15, 16, 17, 22
 de rotație 14
 terestru 21, 23
 Emițător Doppler 210
 Eroare 36
 accidentală 37
 aparentă 38
 de azimut 175
 de colimație 175
 medie pătratică 38
 probabilă 38
 reziduală 38
 sistematică 36
 Excentricitate 23, 211
 Exces sferic 142
- Fir invar 41
 Fire stadimetrice 42
 Forma Lunii 248
 Fotoasamblaj 70
 Fotografie
 convențională 61
 neconvențională 61
 Fotogramă aeriană 60, 68
 Fotogrammetrie 60, 78
 cosmică 288
 planimetrică 66
- Fotohartă 70
 Fotoplan 70
 Fotoredresator 69
 Fotoschemă 70
 Fototriangulație 75
 Funcție
 geopotențială a gravitației 20
 sferopotențială 21
- Fus
 orar 162
 sferic 140
- Geodezica 184
 Geodezie
 cosmică 35
 dinamică spațială 207, 217
 geometrică spațială 207, 211
 Geoid 14, 20, 27, 220, 222
 Gnomon 9
 Goniograf 45
 Goniometru 45
 Gravitație normală 22
 Greșală 36
- Hartă 35, 81
- Imagine stereoscopică 72
 Instrument
 de treceri 169
 ecuatorial 170
 meridian 170
 universal 169
 Interiorul Lunii 258
 Interpretoscop 71
 Intersecție
 directă 48
 inversă 48
 liniară 55
 semidirectă 50
 Interval de așteptare 65
 Izocolă 85
- Înălțime
 astronomică 28
 de aerofotografiere 61, 64
 la apogeu 211
 la perigeu 211
 Înclinarea orbitei 211
 Înregistrare
 digitală 79
 fotografică 78
 multispectrală 226

- nefotografică 77
 prin baleiere 79
 radar 79
- Latitudine**
 astronomică 27, 28
 ecliptică 136
 geocentrică 24
 geodezică 23
 geografică 130, 184
 redusă 25
 selenară 266
 selenografică 266
- Librația Lunii** 246
- Longitudine**
 astronomică 27, 28
 ecliptică 136
 geodezică 23
 geografică 131, 194
 selenară 266
 selenografică 266
- Loxodromă** 113
- Lună**
 nouă 244
 plină 244
 siderală 245
 sinodică 244
- Lunetă** 167
- Mare lunară** 254
- Mascon** 250
- Material fotosensibil** 63
- Mărime**
 fotometrică 225
 radiometrică 225
- Măsurare**
 indirectă 42
 stadimetrică 42
 stereoscopică 73
- Medimaregraf** 56
- Meridian**
 astronomic 28
 ceresc 129
 geodezic 24
- Meridiana locului** 129
- Metoda**
 Akimov-Sumner 173
 aliniamentelor 55
 echerică 55
 Horrebow-Talcott 191
 Mayer 201
 Pevčov 193
 Struve 189
- triangulației 11
 Zinger 199
- Minută topografică** 35
- Mișcarea polului** 149
- Model**
 optic 71
 stereoscopic 71
- Montură**
 altazimutală 169
 ecuatorială 170
- Nadir** 127
- Nivelment**
 geometric 56
 trigonometric 56
- Nod ascendent** 245
- Normală geodezică** 23
- Nutație** 148
- Observare**
 Doppler 215
 fotografică 214
 laser 215
 vizuală 214
- Ondulațiile geoidului** 29, 220, 221, 224
- Orbită** 207
 circulară 208
 eliptică 208
 geosincronă 208
 heliosincronă 208
 osculatoare 219
- Orientare**
 absolută 74
 exterioară 73
 interioară 74
 relativă 74
- Orizont aparent** 126
- Ortodromă** 99
- Ortofotoplan** 70
- Paralaxă** 153
 anuală 155
 diurnă 153
 geocentrică 153
 orizontală 74
 verticală 74
- Paralel**
 astronomic 28
 ceresc 129
- Parametrii orbitei** 208
- Pământ**
 normal 21
 standard 217, 221

- Pendul
 invariabil 32
 reversibil 32
- Perioadă
 de revoluție 207
 sinodică 244
- Planimetrie 35
- Platformă 61
- Podometru 11
- Pol astronomic 28
- Polii
 eclipticii 136
 lumii 127
- Potențial gravitațional 18
- Praf lunar 255
- Precesie 137, 148
- Primul
 pătrar 244
 vertical 129
- Proiect de aerofotografiere 63
- Proiecția
 Gauss-Krüger 115, 117, 118
 Grinten 122
 Jäger-Petermann 124
 Lalleman 119
 Mülling 120
 Postelius 103, 124
 Ptolemeu 94
- Proiecție
 azimutală 88, 95
 cilindrică 88, 108
 circulară 122
 conică 88
 ecuatorială 87
 globulară 123
 oblică 87
 polară 87
 policonică 119
 poliedrică 120
 pseudocilindrică 120
 pseudoconică 94
 stereografică 97, 107, 108
 transversală 87
- Punct
 autumnal 135
 imagine 73
 vernal 135
- Punctele
 echinocțiilor 135
 solstițiilor 135
- Radiație electromagnetică 225, 228
- Radiere
 directă 53
 inversă 53
- Radiotelescop 167
- Rază geocentrică 23, 25
- Răspuns spectral 77, 225
- Receptor de radiații 168
- Redresare 69
 numerică 70
- Reducere
 la nivelul mării 43
 la orizont 43
 la zi 158
- Refracție astronomică 152
- Reticul 11, 169
- Rezoluție a înregistrării 279
- Ridicare 35
- Rîu lunar 255
- Rotația sferei cerești 127
- Satelit geodezic 209, 210
- Scara fotogramei 63, 68
- Secțiune normală geodezică 26
- Selenodezie 273, 285
- Selenografie 244
- Selenoid 274
- Semiaxa mare 211
- Sensor 61
 activ 78, 227, 233
 cu microunde 227
 de baleiere 230, 233
 de fototeleviziune 284
 de teledetecție 227, 233
 de televiziune 229, 233
 fotografic 227, 229
 multispectral 227
 nefotografic 227
 pasiv 78, 227, 233
 pentru infraroșu 227
 pentru ultraviolet 227
 pentru vizibil 227
- Sextant 171
- Sferă cerească 126
- Sferoid 14, 21
- Sistem de proiecție 85, 88
- Stadie 10
- Stele circumlunare 129
- Stereofotogrammetrie 70
- Stereogramă 71
- Stereominută 75
- Stereomodel 71
- Stereorestituție 74

Stereoscop 71

Suprafață

geopotențială 20

normală 220

utilă 65

Tahimetru 45

Teledetecție 78, 222

aeriană 60, 65

spațială 231, 241

Telescop 167

Telurometru 13

Teodolit 45

Timp 159

al efemeridelor 164

astronomic 160

civil 161

fizic 164

legal 162

local 161

newtonian 164

sideral 133, 160

solar adevărat 160

solar mediu 160

terestru 160

universal 162

Toise 11

Traietorie de impact 277

Triangulație 46

aeriană 75

cosmică 207

cosmică mondială 217

Trilaterație 53

Triunghi

polar 141

sferic 140

Tub vidicon 278

Turtirea Pământului 12, 15, 22

Ultimul pătrar 244

Unghi orar 133

Variația verticalei 30

Verticala locului 127

Viteză de lansare 207

Vînt solar 258

Zenit 127

Zi solară medie 161

